

# LE NATURALISTE CANADIEN

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE SYSTÉMATIQUE

---

VOLUME 109

NUMÉRO 1

1982

Juin 1982

---

Les Presses de l'Université Laval  
Québec

# LE NATURALISTE CANADIEN

Revue d'écologie et de systématique

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR  
GUY LACROIX

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION  
PIERRE MORISSET

## COMITÉ DE RÉDACTION

CYRILLE BARRETTE, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD BERNIER, *Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval*  
ANDRÉ BOUCHARD, *Institut botanique, Université de Montréal*  
CARL M. BOYD, *Département d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*  
EDWIN BOURGET, *Département de biologie, Université Laval*  
PIERRE COUILLARD, *Département des sciences biologiques, Université de Montréal*  
JEAN-MARC DESCHÈNES, *Station de recherches, Agriculture Canada, Sainte-Foy, Québec*  
FERNAND M. GAUTHIER, *Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Ministère de l'Agriculture du Québec*  
PIERRE LEGENDRE, *Département de sciences biologiques, Université de Montréal*  
WILLIAM C. LEGGETT, *Département de biologie, Université McGill*  
JEREMY MCNEIL, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD J. R. PHILOGÈNE, *Département de biologie, Université d'Ottawa*

Publication trimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN (Revue d'écologie et de systématique) publie des articles *inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche en écologie, en systématique et dans certains domaines apparentés. La revue s'intéresse également aux aspects appliqués, notamment dans la perspective des ressources agricoles, forestières et halieutiques du Québec et du Canada oriental et nordique.

LE NATURALISTE CANADIEN est subventionné par le Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et par le Fonds F.C.A.C. du Québec.

Les manuscrits doivent être adressés au Secrétaire de la rédaction, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

Toute correspondance touchant l'administration, les abonnements ou les droits de reproduction doit être adressée aux Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4. L'abonnement annuel est de \$17 (personnel), \$19 (personnel, étranger) et \$34 (collectif, *multi-user*). Le numéro régulier se vend \$ 5 ; le numéro spécial, \$ 12.

Répertorié dans Biological Abstracts, Asher's  
Guide, Botanical Periodicals, RADAR et Périodex

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement n° 1768

Dépôt légal — Premier trimestre 1982. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

**FORILLONASPIS, NOUVEL ARTHRODIRE DU DÉVONIEN MOYEN  
DES GRÈS DE GASPÉ, QUÉBEC**

Y. PAGEAU

Département des sciences de la terre, Université du Québec  
à Montréal (UQAM), C.P. 8888, Succ. A, Montréal, Québec H3C 3P8

**Résumé**

Nous décrivons ici un nouvel Arthrodire, *Forillonaspis lehmani*, gen. nov., sp. nov., trouvé dans un banc de grès de la formation de Battery Point d'âge Emsien, juste 2 m au-dessus du fameux banc de grès à *Psilophyton* de Logan, à Cap-aux-Os, Gaspé (Québec). Cet animal est différent de tout ce qui a été décrit jusqu'ici dans les Grès de Gaspé. Il présente un ensemble de caractères primitifs et avancés qui le distinguent et des Coccoostéomorphes (Brachythoracés) et des Arctolépidés, dont les Phlyctaenidés (Dolichothoracés).

**Abstract**

A new arthrodire is described here as *Forillonaspis lehmani*, gen. nov., sp. nov. from a sandstone channel of the Battery Point Formation of Emsian age, 2 m just above the famous sandstone horizon from which Logan collected *Psilophyton*, at Cap-aux-Os, Gaspé, Québec. This animal is different from all other arthrodires already described from the Gaspé sandstones. It shows up a set of primitive and advanced characters which distinguish it from Coccoosteomorphs (Brachythoraci) and the Arctolepida (Dolichothoraci) including the Phlyctaenida.

**Introduction**

Les Grès de Gaspé décrits par Logan (1864) ont été divisés par McGerrigle (1950), en deux formations, savoir la formation de York River à la base et la formation de Battery Point au sommet. L'âge de cette dernière formation est toujours l'objet de discussion, soit le Dévonien moyen (depuis longtemps), soit, plus récemment, la fin du Dévonien inférieur ou le début du Dévonien moyen (Emsien supérieur) (McGregor, 1961, 1967; Cumming, 1959; Pageau, 1968; Pageau & Prichonnet, 1976). Chose certaine, la formation de York River repose sur les calcaires de Grande Grève du Dévonien inférieur que plusieurs auteurs ont subdivisés en formations et membres (Russell, 1947; Lespérance & Bourque, 1970; Skidmore, 1972; Lespérance, 1975; Lespérance & Sheenan, 1975). D'autres auteurs se sont attachés à situer la frontière siluro-dévonienne (Boucot, Cumming & Jaeger, 1976), tandis qu'un autre a tenté d'unifier la stratigraphie de toute la péninsule de Gaspé (Bourque, 1975).

La faune que nous décrivons ici provient d'un banc de grès situé à Cap-aux-Os, Gaspé (Québec, Canada), à la frontière du parc Forillon. Ce banc de grès (lit C), déjà décrit dans une colonne géologique détaillée (Pageau & Prichonnet, 1976), repose juste 2 m au-dessus du fameux banc à *Psilophyton* de Logan (McGregor & Terasmae, 1959). La très grande majorité des spécimens fossiles découverts dans ce lit particulier proviennent des intercalations d'argilite et d'argilite gréseuse à l'intérieur de ce banc de près de 3 m de puissance au bas de la falaise, mais qui s'amenuise à 30 cm à quelque 20 m plus haut, dans la falaise. Avec ses lits entrecroisés, ce lit représente un chenal typique qui a entraîné les ossements de poissons fossiles, d'où leur état de fragmentation.

**Vue d'ensemble de la faune**

Les restes de poissons fossiles découverts dans ce banc de grès appartiennent

à plusieurs groupes: Arthrodires, Ostracodermes et Acanthodiens. On n'a observé aucune trace d'invertébrés dans le lit lui-même.

#### OSTRACODERMES

Nous avons découvert, dans ce banc de grès, des fragments de bouclier céphaliques de Céphalaspides, notamment ceux de *Cephalaspis peninsulae* Pageau et de *Cephalaspis westolli* Russell.

#### ACANTHODIENS

Un fragment de corps d'un Acanthodien a été découvert dans ce banc. Ce fragment de 7 cm de long est le premier document du genre en provenance de la formation de Battery Point. On avait déjà décrit des épines ou des aiguillons ainsi que des écailles isolées d'Acanthodiens (Pageau, 1969a), mais jamais de parties de corps.

#### ARTHRODIRES

Un toit crânien et des plaques thoraciques de *Pageauaspis russelli* (Denison, 1978) (= *Quebecaspis russelli* Pageau, 1969b) ont été découverts dans ce banc, ainsi qu'un tout petit toit crânien de 5 cm de long, mais incomplet, d'un Arthrodire indéterminé, quelques plaques thoraciques (plaques spinale, médio-dorsale, antéro-dorso-latérale de *Phlyctaenius acadicus* Whiteaves) et surtout une trentaine de plaques thoraciques ainsi qu'une plaque possible de toit crânien du nouvel Arthrodire qui est l'objet principal de cet article.

#### *Forillonaspis lehmani*, gen. nov., sp. nov.

##### DIAGNOSE

*Nom du nouveau genre: Forillonaspis*; de la péninsule de Forillon, territoire d'un parc national canadien, à l'extrémité orientale de la péninsule de Gaspé (Québec, Canada) et *aspis*, mot grec signifiant *bouclier*.

*Nom de la nouvelle espèce: lehmani*, en l'honneur de Jean-Pierre Lehman, directeur de l'Institut de paléontologie du Muséum d'histoire naturelle de Paris.

##### *Spécimens type et co-type.*

*Spécimen type*: plaque médio-dorsale (MD); LTC-V-473A (473B, la contre-empreinte et 473C, le moulage de la contre-empreinte). LTC, pour Laboratoire Teilhard de Chardin, Département sciences de la terre, UQAM.

*Spécimen co-type*: plaque antéro-dorsale gauche (ADL); LTD-V-474A, (474B, la contre-

empreinte et 474C, le moulage de la contre-empreinte).

#### DESCRIPTION GÉNÉRALE

L'animal est représenté par une trentaine de plaques trouvées dans un horizon limité de 10 à 15 cm, horizon à boulettes, dans le banc de grès de 4 m d'épaisseur environ, à quelque 10 m sous la colonne de Russell (1947). Toutes ces plaques ont été trouvées désarticulées et disséminées dans l'horizon mentionné, sur une surface de 1.5 m de largeur par 3 m de longueur. Des cassures ont permis à l'eau de s'infiltrer dans l'horizon fossilifère du banc de grès qui représente un chenal typique, puisqu'il s'amenuise latéralement à moins de 30 cm quelque 20 m plus loin (plus haut dans la falaise, car les lits ont un pendage S.O. de 60-65°). De plus, on y observe les lits entrecroisés caractéristiques des chenaux de dépôts deltaïques. À cause de cette infiltration de l'eau, l'os dermique des plaques a été très altéré au point qu'il tombait en poussière en ouvrant la roche. Des fragments d'os ont toutefois été recueillis et leur analyse en lames minces a permis d'identifier l'os dermique caractéristique des Arthrodires. De plus, les contre-empreintes, après nettoyage à l'acide (HCl dilué), ont laissé apparaître la tuberculation de la face externe de l'os dermique, ce qui a permis de faire de bons moulages.

La disposition uniforme des tubercules et leur dimension permettent de penser que les quelque trente plaques trouvées à cet horizon fossilifère, appartiennent à la même espèce.

#### TUBERCULATION

Toutes les plaques trouvées présentent une tuberculation uniformément répartie. On ne trouve pas de tubercules disposés en rangées ou en crêtes, en rangées concentriques comme c'est le cas chez nombre d'Arthrodires, par exemple chez certains Cocco-téomorphes comme *Plourdosteus canadensis* (Woodward) ou chez plusieurs Arctolépides comme *Phlyctaenius acadicus* Whiteaves. On ne trouve pas non plus de différence dans leur dimension comme on l'observe souvent chez d'autres Arthrodires où, aux centres de croissance des plaques, les tubercules sont plus petits. Peut-être faut-il attribuer cette uniformité dans la dimension des tubercules au fait que l'animal a atteint une certaine maturité et que la croissance était terminée.

Un autre caractère général de toutes ces plaques, c'est que leur dimension est près de 10 fois celle de toutes les plaques des espèces déjà décrites dans les Grès de Gaspé (Pageau, 1969b), à l'exception de *Phlyctaenius acadicus* Whiteaves, dont les spécimens proviennent de Campbellton (Nouveau-Brunswick, Canada).

De plus, une seule de la trentaine des plaques identifiables peut être décrite comme appartenant avec un peu de certitude à un toit crânien. Toutes les autres plaques sont des plaques thoraciques, même si on ne peut toutes les identifier précisément à cause de leur état de dislocation et de manque de caractère spécifique. Enfin, il faut noter que malgré les limites de cette documentation, *Forillonaspis lehmani* est représenté par au moins trois individus puisque la plaque antéro-dorso-latérale (ADL) est représentée par trois spécimens de la plaque gauche, à savoir LTC-V-474A, LTC-V-476A (voir pl. I, 2, 4 et 5) et LTC-V-475A (non figuré ici) ainsi que par une plaque ADL droite, le spécimen LTC-V-485 (voir pl. II, 7).

#### DESCRIPTION DÉTAILLÉE

*Spécimen type: plaque médio-dorsale* (MD) LTC-V-473, pl. I, 1 et 3.

Cette plaque a été choisie comme spécimen type du nouveau genre et de la nouvelle espèce parce qu'elle est complète et unique. Elle présente un certain nombre de caractères qui la différencient de tous les Arthrodires déjà décrits dans cette région comme aussi de *Plourdosteus canadensis* (Woodward), qui provient de la formation d'Escuminac du Dévonien supérieur. Le choix de la plaque médio-dorsale (MD) comme spécimen type s'imposait, vu que la seule autre plaque identifiée avec certitude est la plaque antéro-dorso-latérale (ADL) dont les caractères, si intéressants soient-ils, ne permettent pas de la différencier de celle de plusieurs autres Arthrodires. Quant à la plaque centrale (CE) (ou pariétale) décrite ci-dessous, son identification demeure douteuse.

La plaque médio-dorsale, représentée par le spécimen unique LTC-V-473 (pl. I, 1 et 3), forme une ogive dont l'arrière constitue la pointe et l'avant la base évasée. Sa longueur médiane est de 10,5 cm dont 0,5 cm pour la plage de recouvrement de la nuchale (NU), tandis que sa largeur maximale est de 12,5 cm. C'est donc une plaque qui est six à sept fois plus grande que la médio-

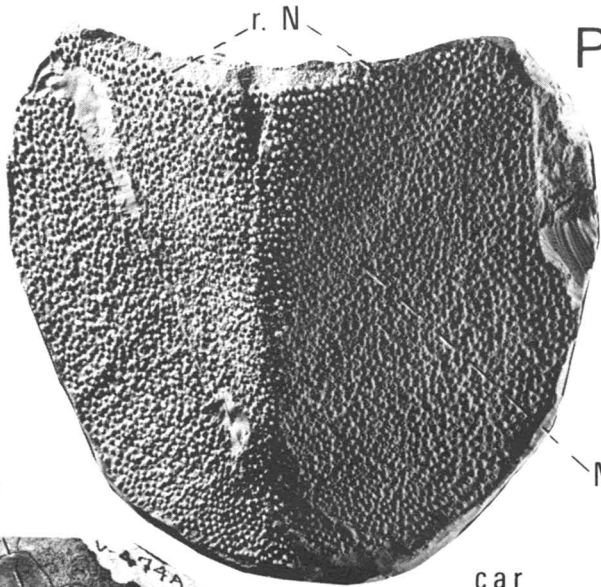
dorsale de *Cartieraspis nigra*, *Laurentaspis splendida* et *Kolpaspis beaudryi* Pageau (1969b). De plus, la médio-dorsale de ces genres et espèces est allongée, toujours deux à trois fois plus longue que large. Chez *Phlyctaenius acadicus* Whiteaves, la plaque médio-dorsale peut atteindre 10 à 12 cm de longueur, mais sa largeur est toujours à la moitié de sa longueur. Chez *Plourdosteus canadensis* (Woodward), la plaque médio-dorsale est toujours plus longue que large, environ deux fois plus longue que large elle aussi. Ici, la plaque médio-dorsale est même un peu plus large que longue. Par sa forme, cette plaque se rapproche beaucoup de genres et d'espèces regroupés dans le sous-ordre des Coccostéinés, voire même des sous-ordres des Pachyostéinés et Hétérostéinés (Denison, 1978). Ce ne peut être du sous-ordre des Phlyctaéniinés, car cette plaque est relativement beaucoup trop courte, ce qui indique un thorax, tout au moins dorsalement, plus raccourci que celui des Phlyctaéniinés. Un tel raccourcissement indique donc un caractère plus avancé que chez les Phlyctaéniinés.

Par contre, on n'observe aucune trace de ligne sensorielle comme c'est le cas chez plusieurs Coccostéidés. C'est donc un caractère primitif qui se rapproche de celui des Phlyctaéniinés. De plus, la pointe arrière de la plaque est une pointe d'ogive douce et ne forme pas de pointe projetante — appelée parfois épine — comme c'est le cas chez *Plourdosteus canadensis* (Woodward) et d'autres Coccostéinés.

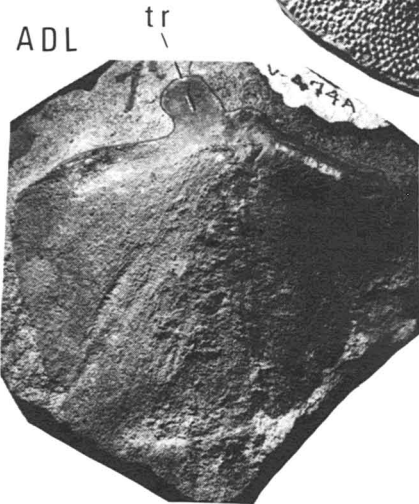
L'ornementation de l'os dermique présente une distribution uniforme de tubercules sans disposition en rangées comme chez *Plourdosteus canadensis* (Woodward) ou d'autres Coccostéinés et Phlyctaéniinés. Les tubercules sont tous de même dimension et contrairement à ce qu'on remarque chez *Plourdosteus* et autres Coccostéinés et Phlyctaéniinés, on peut difficilement percevoir qu'ils soient plus petits près du centre de radiation de la plaque. Par contre, chaque tubercule présente, près de la base, la vascularisation en étoile caractéristique de l'os dermique de nombreux Arthrodires. Mentionnons aussi que l'os dermique est assez épais (environ 3 mm d'épaisseur). Cette épaisseur est d'ailleurs constante sur toutes les plaques thoraciques trouvées.

La plage de recouvrement par la plaque nuchale (NU) s'étend sur une largeur de 7 cm avec une profondeur maximale de 0,5 cm médialement, profondeur qui s'amenuise à

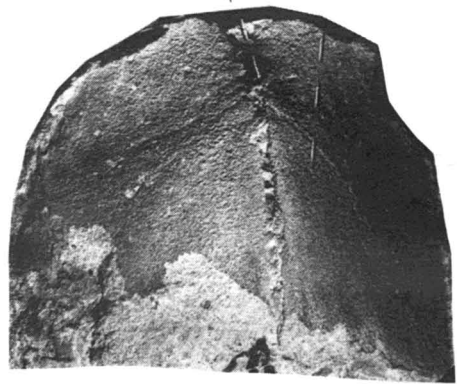
1 PL. I



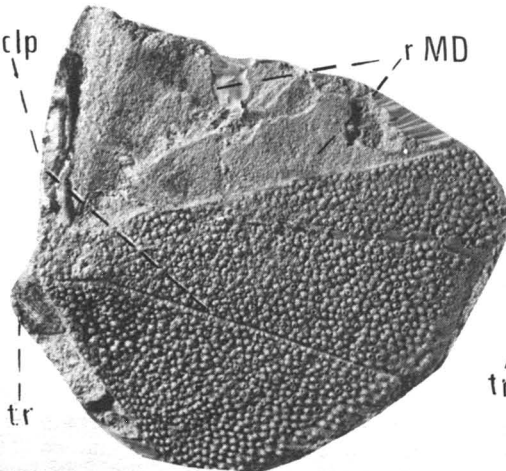
2 ADL



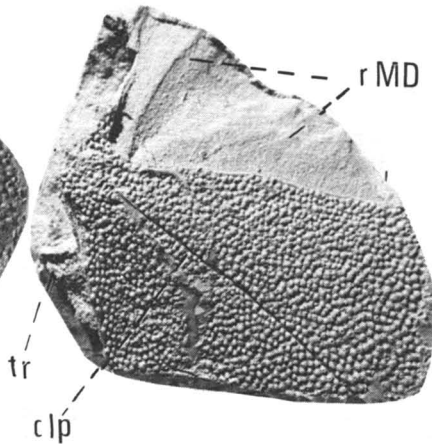
3 car MD



4 ADL



5 ADL



rien latéralement. La surface peu développée de cette plage de recouvrement de la nuchale sur la plaque médio-dorsale relativement grande, indique, avec les trochlées bien développées des plaques antéro-dorso-latérales (pl. I, 4 et 5), une articulation qui n'a pas atteint le degré de liberté qu'on retrouve chez les Pachyostéinés. On a donc là aussi un caractère relativement primitif.

Notons enfin que la plage dorso-latérale de la plaque médio-dorsale (MD) sur les plaques antéro-dorso-latérales (pl. I, 5 et 6) forme une aire triangulaire dont la base antérieure mesure 4,5 cm de longueur, alors que la pointe postérieure de ce triangle ne mesure plus que 1 cm. L'étendue de cette plage de recouvrement coïncide parfaitement avec la dimension et la forme de la plaque médio-dorsale et indique une grande solidité de la boîte thoracique, ce qui peut être considéré comme un caractère primitif.

À la partie médiane de la plaque, on peut voir des vestiges d'os (pl. I, 3) indiquant qu'une carène de faible dimension existait à la face interne de l'exosquelette. Notons que la plaque médio-dorsale est légèrement arquée transversalement et qu'un dessin en forme de V dirige sa pointe vers l'arrière. La pointe de ce V coïncide sans doute avec le centre de croissance de la plaque.

#### Plaques antéro-dorso-latérales (ADL)

Spécimen co-type: LTC-V-474 (pl. I, 2 et 4) ADL gauche. Il faut ajouter deux autres spécimens de plaques gauches, LTC-V-476 (pl. I, 5) et LTC-V-475 (non représenté ici); enfin une plaque droite, le spécimen LTC-V-485 (pl. II, 7). Ces quatre plaques sont attribuées à *Forillonaspis lehmani* parce que leur forme et leur tuberculation sont identiques. De plus, elles représentent au moins trois individus. Leur association étroite avec les autres pla-

ques décrites, en provenance du même horizon fossilifère de quelques centimètres d'épaisseur, préjuge de leur co-spécificité si elle ne la garantit pas. Quant aux quatre plaques antéro-dorso-latérales elles-mêmes, elles ont en commun en plus d'une tuberculation identique, un os dermique de même épaisseur, une forme générale identique, des trochlées ou condyles d'articulation identiques ainsi qu'un parcours identique de la ligne sensorielle latérale principale.

Le spécimen co-type, LTC-V-474 (pl. I, 2 et 4), représente une plaque antéro-dorso-latérale (ADL) assez forte et grande; elle mesure en effet près de 13 cm dans sa longueur maximale et 10,5 cm dans sa largeur maximale. Si la plage triangulaire de recouvrement est bien due à la position de la plaque médio-dorsale (MD), il s'ensuit que le canal de la ligne sensorielle principale (clp) suit un parcours ventral comme chez les Coccostéidés en général. La trochlée (tr.) (ou condyle) est bien développée, ce qui indique une articulation efficace. Ne disposant pas de la plaque paranuchale (PN), on ne peut donc statuer sur l'état de la fosse glénoïde pour recevoir un tel condyle.

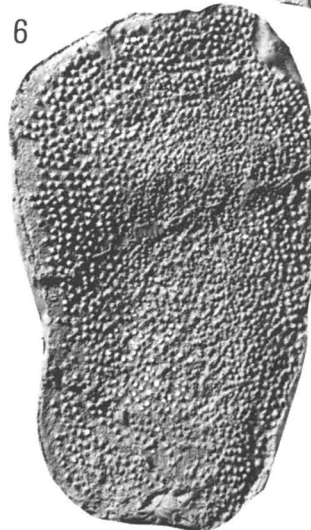
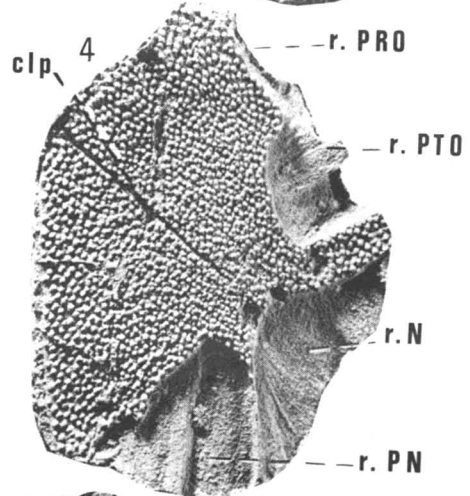
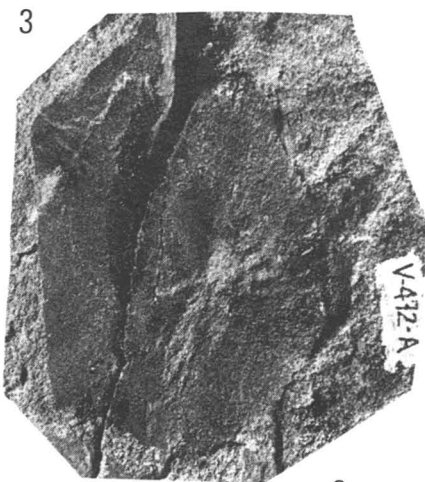
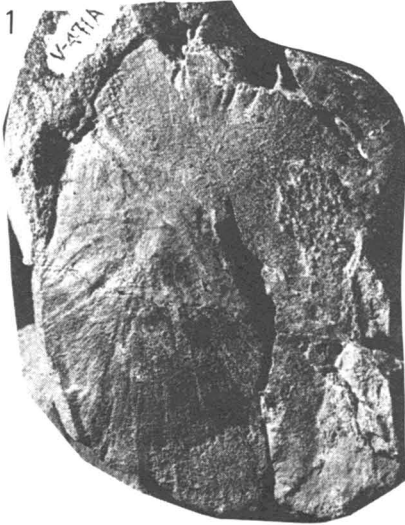
Le spécimen LTC-V-485 (pl. II, 7) représente une plaque antéro-dorso-latérale droite, qui laisse apparaître un fragment de la plaque spinale (SP). On ne peut tirer aucune conclusion sur la longueur de cette spinale, sauf que ce fragment indique une taille réduite. Enfin, les plaques ADL ne présentent pas de plage de recouvrement par les plaques antéro-latérales (AL), alors qu'on n'observe aucune cassure nette. Cette absence suggère une fusion des plaques ADL et AL comme chez certains Hétérostéinés. Notons aussi que les plaques ADL sont légèrement convexes extérieurement.

#### Planche I

- 1 et 3 — Plaque médio-dorsale (MD), *Forillonaspis lehmani* gen. nov., sp. nov.; 1 — moulage du spécimen LTC-V-473C montrant la face externe tuberculée de l'os dermique; 3 — face interne de l'exosquelette du même spécimen montrant les vestiges de l'os dermique formant la carène postérieurement à l'axe médian (contrairement à la fig. 1, où la partie postérieure est au sud, ici elle est au nord),  $\times 0,5$ .
- 2, 4, 5 — Plaques antéro-dorso-latérales gauches (ADL) (post-temporales de Stensiö) de *Forillonaspis lehmani* gen. nov., sp. nov.; 2 — et 4 — spécimen LTC-V-474; 2 — face interne de l'exosquelette; 4 — moulage de la face externe tuberculée de l'os dermique,  $\times 0,5$ ; 5 — spécimen LTC-V-476C, moulage montrant l'ornementation tuberculée de la face externe de l'os dermique,  $\times 0,5$ .

Légende: MD et ADL, plaques médio-dorsale et antéro-dorso-latérale; car., carène; clp, canal de la ligne sensorielle principale; tr., trochlée ou condyle d'articulation; r.N et r.MD, plages de recouvrement par les plaques nuchale et médio-dorsale.

PL. II





*Plaque antéro-latérale (AL)*

Spécimen LTC-V-482 (pl. III, B). La forme triangulaire de cette plaque suggère sa position au contact d'une plaque antéro-dorso-latérale. Mais cette suggestion demeure douteuse, puisqu'on ne relève sur aucune des quatre plaques ADL disponibles une plage correspondante de recouvrement.

*Plaques postéro-ventro-latérales (PVL)*

Spécimens LTC-V-471 (pl. II, 1 et 2) et LTC-V-477 (pl. II, 5 et 6). Ces plaques mesurent en longueur de 12 à 13 cm; elles sont relativement uniformes, sans relief ou courbure particulière, mais présentent la même tuberculation uniforme que celle des plaques décrites ci-dessus.

*Plaque antéro-ventro-latérale (AVL)*

Spécimen LTC-V-478 (pl. III, A). C'est un pli dans la plaque et la finesse des tubercules qui suggèrent que ce spécimen soit une plaque AVL de *Forillonaspis lehmani*.

*Conclusion sur les plaques thoraciques*

Il est évident qu'avec une plaque médio-dorsale aussi large que longue et qu'avec des plaques antéro-dorso-latérales aussi développées, la région dorso-latérale du thorax est très forte. Avec les plaques thoraciques suivantes, plaques antéro-latérales, antéro-ventrales et postéro-ventrales, on obtient un thorax relativement fort et court dorso-latéralement, mais encore assez long ventralement. Un tel thorax serait donc d'allure Coccostéomorphe dorsalement, mais d'allure Phlyctaeniiné ventralement.

*Plaque centrale (CE)*

Spécimen LTC-V-472 (pl. II, 3 et 4 et fig. 1). C'est la seule plaque qui puisse être attribuée avec un certain degré de certitude à un toit crânien et elle est identifiée comme étant une plaque centrale (CE). Le canal sensoriel central (cc) est très net. La tuberculation est uniforme et identique à celle des autres plaques décrites. La position géographique de cette plaque demeure toutefois hypothétique. Tout d'abord, il faut noter que la plaque ne présente pas la forme trilobée classique des Coccostéomorphes, mais présente quand même des projections. La projection médiane ressemble à celle de *Pholidosteus friedeli* Jaekel, mais elle n'a pas forcément un pendant symétrique. C'est pourquoi le recouvrement (r. CE) par la plaque centrale symétrique (fig. 1) peut être imaginé d'une toute autre façon. Par contre, les plages de recouvrement (r. PN et r. NU) des plaques paranuchale et nuchale ont le mérite de postuler un élargissement postérieur de la plaque nuchale comme c'est le cas chez de nombreux Coccostéomorphes. De plus, cet élargissement permet de croire que la plaque médio-dorsale correspond en largeur réelle à celle de la plaque nuchale. Enfin, la reconstitution de la figure 1 permet d'imaginer l'articulation des plaques antéro-dorso-latérales (ADL) sur les paranuchales (PN).

**Classification**

Il semblerait téméraire de classer *Forillonaspis lehmani* dans une des familles actuelles d'Arthrodires, encore plus de le référer

## Planche II

Toutes les plaques de cette planche sont de *Forillonaspis lehmani* gen. nov., sp. nov.

- 1 et 2 — Plaque postéro-ventro-latérale (PVL); spécimen LTC-V-471;  $\times 0,5$ .
  - 1 — empreinte de la face interne de l'exosquelette.
  - 2 — moulage montrant la face externe de l'ornementation tuberculée.
- 3 et 4 — Plaque centrale (CE) (pariétale ex Stensiö); spécimen LTC-V-472.
  - 3 — face interne de l'exosquelette,  $\times 1,5$ .
  - 4 — moulage de la face externe montrant l'ornementation tuberculée de l'os dermique,  $\times 1,5$ .
- 5 et 6 — Plaque postéro-ventro-latérale (PVL); spécimen LTC-V-477.
  - 5 — face interne de l'os dermique avec trace de l'ornementation tuberculée au nord-ouest de la photo,  $\times 0,6$ .
  - 6 — moulage de la face externe de l'os dermique,  $\times 0,5$ .
- 7 — Plaque antéro-dorso-latérale droite (ADL), spécimen LTC-V-485, montrant une partie de la plaque spinale (SP) qui a été déplacée,  $\times 2$ .

Légende: r.N, r.PN, r.PRO, r.PTO, plages de recouvrement par les plaques nuchale, paranuchale, préorbitaire et postorbitaire; clp, canal de la ligne sensorielle principale.

## PL. III

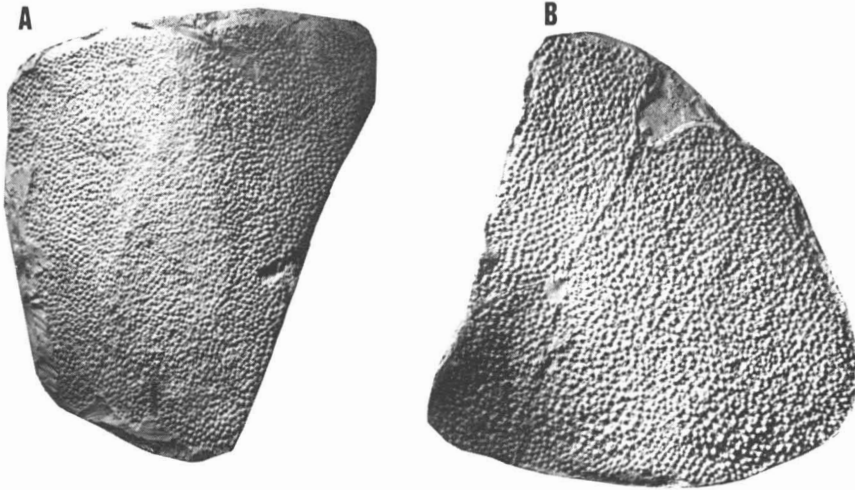


Planche III

A et B — Plaques thoraciques de *Forillonaspis lehmani* gen. nov., sp. nov.

A — Plaque antéro-ventro-latérale (AVL), moulage du spécimen LTC-V-478,  $\times 0,4$ .

B — Plaque antéro-latérale (AL), moulage du spécimen LTC-V-482,  $\times 0,4$ .

rer à une nouvelle famille quand on sait les divergences de vue des auteurs au sujet de la classification des Arthrodires. Par exemple, Miles (1971) a attribué *Holonema westolli* Miles à la famille des Holonematidés pour en faire un Brachythoracidé à un niveau d'organisation de Coccostéomorphe primitif. Denison (1978) trouve, pour sa part, que ce rapprochement n'est pas cohérent ni logique quand la définition originale des Brachythoracidés faite par Gross (1932) fait état d'un thorax raccourci, alors que *Holonema westolli* possède un long thorax. White (1978) critique Miles pour avoir énuméré un ensemble de caractères arctolépidés et brachythoracidés tout à la fois pour *Gemuendenaspis*. Il trouve futile de caractériser un poisson comme Arctolépidé avec des caractères brachythoracidés ou vice-versa.

La classification doit essayer de rejoindre la réalité. Malheureusement, malgré que depuis une quinzaine d'années plusieurs auteurs (Ritchie, 1973; Goujet, 1973; Janvier, 1974; Young, 1980, 1981; White, 1978; Lehman, 1973, 1976; Gardiner & Miles, 1975; Pageau, 1969b) aient décrit de nouvelles formes en provenance du Spitsberg, de l'Australie, de l'Iran, du Maroc, de Gaspé

au Canada et d'ailleurs, et malgré que plusieurs auteurs (Obruchev, 1964; Stensiö, 1969a, 1969b; Miles & Young, 1977; Moy-Thomas & Miles, 1971; Denison, 1978) aient tenté d'améliorer la classification des Arthrodires, on ne s'entend pas encore sur l'évolution des caractères dits avancés en regard de la conservation de caractères primitifs ou spécialisés chez d'autres poissons du même âge, et on doit faire appel au principe de caractères acquis par parallélisme ou convergence. C'est ainsi que White (1978) critique les hypothèses de classification de Miles (1971) et Denison (1978) parce que certains Arthrodires du Dévonien inférieur d'Australie montrent des caractères avancés pour l'époque, comme la réduction du thorax.

S'il faut tenter de classifier en ayant à l'esprit d'établir les relations phylogénétiques les plus probables, il nous a semblé préférable de nous abstenir, pour le moment, de classer *Forillonaspis lehmani*, et de nous en tenir, dans ce premier temps, à faire connaître le matériel qui demeure extrêmement intéressant, mais par ailleurs très incomplet. On préfère donc attendre que des pièces du toit crânien soient découvertes

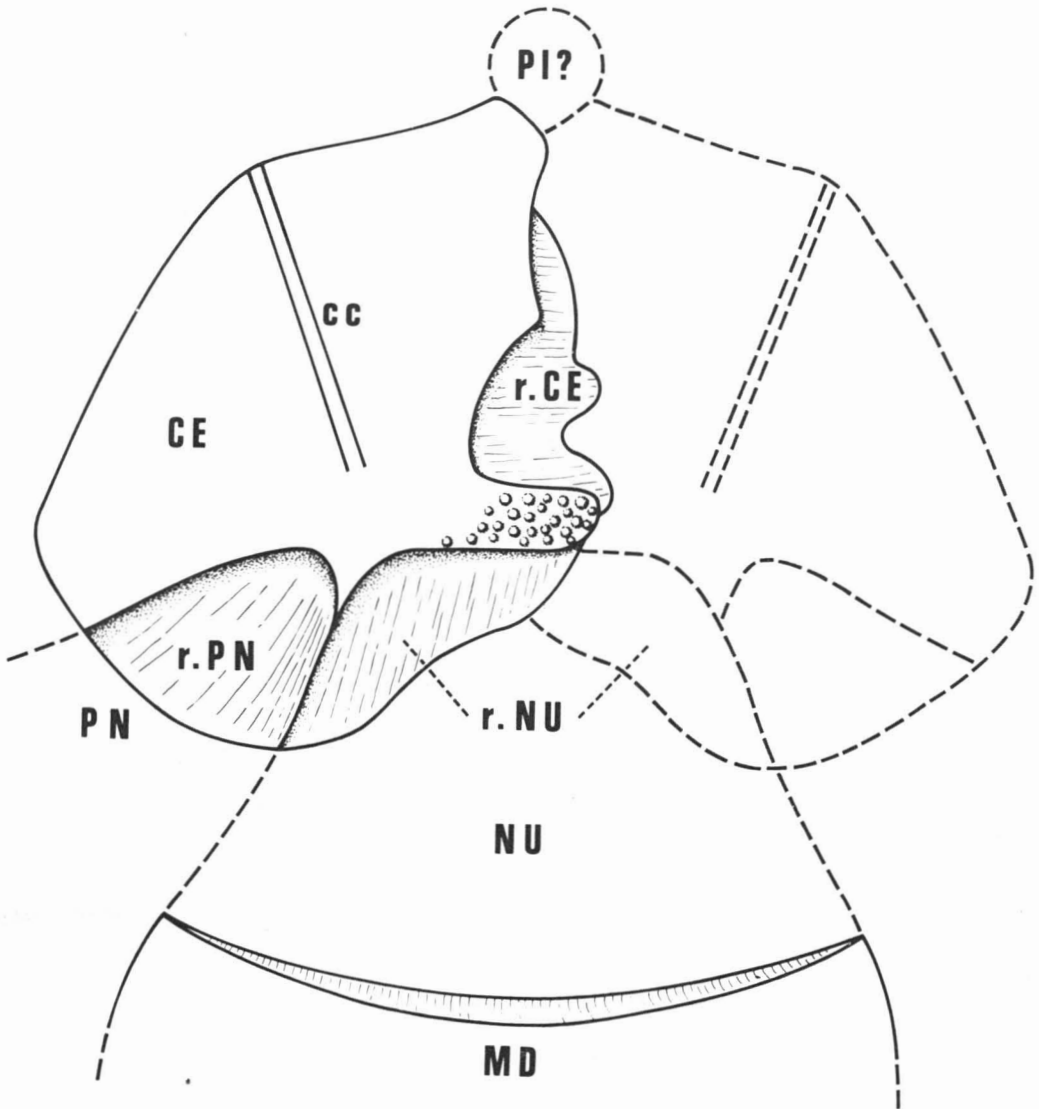


Figure 1. Reconstitution plausible de la plaque centrale (CE) (pl. II, 3 et 4) avec ses contacts et recouvrements avec quelques plaques adjacentes: la plaque nuchale (NU), la plaque paranuchale (PN), et la plaque centrale (CE). Spécimen LTC-V-472B,  $\times 0,5$ . La plaque à droite est la projection symétrique de la plaque gauche. Légende: r.NU, r.PN, r.CE, plages de recouvrement par les plaques nuchale, paranuchale et centrale; cc, canal central de la ligne sensorielle principale; PI, plaque pinéale; MD, plaque médio-dorsale.

lors de prochaines fouilles, pour attribuer *Forillonaspis* à une famille particulière d'Arthrodires.

### Conclusion

En l'absence de plaques dermiques du toit crânien (à l'exception de la centrale douteuse), il est difficile de classer *Forillo-*

*naspis lehmani*. On peut toutefois dégager certains caractères primitifs: présence de tubercules sur l'os dermique, absence de lignes sensorielles sur la plaque médio-dorsale; présence d'une grosse trochlée sur la plaque ADL; l'absence d'un «nuchal gap» (un grand "nuchal gap" est caractéristique des Pachyostéomorphes); l'absence d'émargination antérieure de la MD (une grande

émargination caractérise les Pachyostéomorphes). Le seul caractère avancé, c'est que la plaque médio-dorsale (MD) est un peu plus large que longue, une condition qu'on trouve rarement chez les Phlyctaeniines, un peu plus fréquemment chez les Coccostéinés. *Forillonaspis* pourrait être rapproché des Pholidostéidés (Coccostéinés) par ses dimensions moyennes, par l'ornementation tuberculée de l'os dermique, par la forme aussi large que longue de la plaque médio-dorsale (MD) et par le fait que cette même plaque n'est pas traversée par la ligne sensorielle latérale. Par contre, il diffère de *Pholidosteus friedeli* tout au moins dont la plaque centrale est trilobée.

Enfin, malgré une suggestion de W. Kohberger (commentaire écrit), on ne peut pour l'instant rapprocher *Forillonaspis* de quelques Brachydéiridés, d'abord parce que ces derniers sont surtout d'âge Frasnien et que *Forillonaspis* est d'âge Emsien, ensuite parce que l'os dermique est plus épais chez les Brachydéiridés et surtout parce que rien n'indique que *Forillonaspis* possède un bouclier thoracique élevé, étroit et allongé comme c'est le cas chez les Brachydéiridés.

### Remerciements

Le matériel décrit dans cet article a été découvert lors des campagnes de fouille durant les étés 1972, 1973, 1974 et 1975, grâce à une subvention triennale du C.N.R.C. (Conseil national de la recherche du Canada, maintenant Conseil de la recherche en sciences naturelles et génie du Canada). Deux assistants ont participé activement à la découverte de ce matériel. Il s'agit de MM. Serge Genest et André Doiron, tous deux étudiants à l'époque, au baccalauréat en géologie du Département des sciences de la terre de l'UQAM.

### Références

- BOUCOT, A., L. M. CUMMING & H. JAEGER, 1967. Contributions to the age of the Gaspé sandstone and Gaspé limestone. — *Geol. Surv. Can.*, Pap. no. 67-25, 27 p.
- BOURQUE, P.-A., 1975. Lithostratigraphic framework and unified nomenclature for Silurian and basal Devonian rocks in Eastern Gaspé Peninsula, Québec — *J. can. Sci. Terre*, 12: 858-872.
- CUMMING, L. M., 1959. Silurian and lower Devonian formations in the eastern part of Gaspé Peninsula, Québec — *Mem. geol. Surv. Can.*, no. 304, 45 p.
- DENISON, R., 1978. Handbook of paleoichthyology, V. 2 (ed. by H.P. Schultze & O. Köhn). — Gustav Fischer Verlag, Stuttgart & New York, 128 p.
- GARDINER, B. J. & R. S. MILES, 1975. Devonian fishes of the Gogo formation, Western Australia — *Coll. int. CNRS*, 218: 73-79.
- GOUJET, D., 1973. *Sigaspsis*, un nouvel Arthrodire du Dévonien inférieur du Spitsberg — *Paleontographica. Abt. A.*, 143: 73-88.
- GROSS, W., 1932. Die Arthrodira Wildungens — *Geol. Pal. Abt.*, (N.F.), 19: 1-61.
- JANVIER, P., 1974. Preliminary report on late Devonian fishes from central and eastern Iran — *Rep. geol. Surv. Iran*, 31: 5-47.
- LEHMAN, J.-P., 1973. Un nouveau Coccostéomorphe, *Belgiosteus mortelmansi*. — *Annls Paléont., Vert.*, 59: 3-14.
- LEHMAN, J.-P., 1976. Nouveaux poissons fossiles du Dévonien du Maroc. — *Annls Paléont., Vert.*, 62: 1-23.
- LESPEANCE, P. J., 1975. Stratigraphy and paleontology of the Synphoriidae (Lower and Middle Devonian Dalmanitacean Trilobites). — *J. Paleont.*, 49: 91-137.
- LESPEANCE, P. J. & P. A. BOURQUE, 1970. Silurian and basal Devonian stratigraphy of Northeastern Gaspé Peninsula, Québec. — *Am. Ass. Petrol. Geologists Bull.*, 54: 1867-1886.
- LESPEANCE, P. J. & P. M. SHEENAN, 1975. Middle Gaspé Limestones communities on the Forillon Peninsula, Québec, Canada (Siegenian, Lower Devonian). — *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 17: 309-326.
- LOGAN, W. E., 1864. Géologie du Canada. — Commission géologique du Canada. Rapport des opérations jusqu'à 1863. Rapport, n° 50, 1043 p.
- McGERRIGLE, H. W., 1950. La géologie de l'est de Gaspé, Québec. — *Min. Mines Québec, Rapp. géol.*, n° 35, 174 p.
- McGREGOR, D. C., 1961. Spores with proximal radial pattern from the Devonian of Canada. — *Geol. Surv. Can. Bull.*, no. 76, 12 p.
- McGREGOR, D. C., 1967. Composition and range of some Devonian spore assemblages of Canada. — *Rev. Paleobotan. Palynol.*, p. 173-183.
- McGREGOR, D. C. & J. TERASMAE, 1959. Palaeobotanical excursion to the Gaspé Peninsula, New Brunswick and northwestern Nova Scotia. — *Geol. Surv. Can.*, 51 p.
- MILES, R., 1966. *Protitanichthys* and some other coccostéomorph arthrodires from the Devonian of North America. — *K. svenska vetensk.-Akad. Handl.*, Bd. 10, no. 3, p. 3-49, 8 pl.
- MILES, R., 1971. The Holonematidae (placoderm fishes), a review based on new specimens of *Holonema* from the Upper Devonian of Western Australia. — *Phil. Trans. R. Soc. (B)*, 263: 101-234.
- MILES, R. S. & G. C. YOUNG, 1977. Placoderm interrelationships reconsidered in the light of

- new phycodontids from Gogo, Western Australia. — *In* Andrews, S.M., R.S. Miles & A.D. Walker, (eds.), Problems in vertebrate evolution, Linn. Soc. Symp., 4: 123-198.
- MOY-THOMAS, J.A. & R.S. MILES, 1971. Paleozoic fishes, 2nd ed. — Saunders Co. Philadelphia, Toronto, nd. xi, 259 p.
- OBRUCHEV, D.M., 1964. Class Placodermi. — Pages 118-172 *in* Fundamentals of paleontology, Akad. Nauk SSSR, 9.
- PAGEAU, Y., 1968. Nouvelle faune ichthyologique du Dévonien moyen dans les Grès de Gaspé (Québec). I. Géologie et écologie. — *Naturaliste can.*, 95: 1454-1497.
- PAGEAU, Y., 1969a. Nouvelle faune ichthyologique du Dévonien moyen dans les Grès de Gaspé (Québec). II. Morphologie et systématique; première section: Euryptérides Ostracodermes, Acanthodiens et Sélaciens. — *Naturaliste can.*, 96: 399-478.
- PAGEAU, Y., 1969b. Nouvelle faune ichthyologique du Dévonien moyen dans les Grès de Gaspé (Québec). II. Morphologie et systématique; deuxième section: Arthrodires, Dolichothoraci. — *Naturaliste can.*, 96: 805-889.
- PAGEAU, Y. & G. PRICHONNET, 1976. Interprétation de la paléontologie et de la sédimentologie d'une coupe géologique dans la formation de Battery Point (Dévonien moyen) Grès de Gaspé. — *Naturaliste can.*, 103: 111-118.
- RITCHIE, A., 1973. *Wuttagoonaspis*, gen. nov., an unusual arthrodire from the Devonian of Western New South Wales, Australia. — *Paleontographica* (A), 143: 58-72.
- RUSSELL, L.S., 1947. A new locality for fossil fishes and Eurypteryds in the Middle Devonian of Gaspé, Québec. — *Contr. R. Ont. Mus. Palaeont.*, no. 12, 6 p.
- SKIDMORE, W.B., 1972. Partie est et sud de la péninsule de Gaspé. Arrêts J1 à L7 — Pages 59-105, *in* P. St-Julien, C. Hubert, B. Skidmore, J. Béland — Stratigraphie et structure des Appalaches du Québec. Livret-guide des excursions A56 — C56, 24<sup>e</sup> Congrès géol. int. Montréal, 105 p.
- STENSIÓ, E., 1969a. Elasmobranchiomorphi, Placodermi, Arthrodires. — Pages 71-692 *in* J. Piveteau (ed.), *Traité de Paléont.*, Tome 4, Vol. 2, 790 p.
- STENSIÓ, E., 1969b. Anatomie des Arthrodires dans leur cadre systématique. — *Annls Paléont., Vert.*, tome 55, p. 149-192.
- STENSIÓ, E., 1971. Anatomie des Arthrodires dans leur cadre systématique. — *Annls Paléont., Vert.*, tome 57, p. 45-83.
- WHITE, E.I., 1978. The larger arthrodiran fishes from the area of the Burrinjuck Dam. NSW. — *Trans. zool. Soc. Lond.*, 34: 149-262.
- YOUNG, G.C., 1980. A new early Devonian Placoderm from New South Wales, Australia, with a discussion of Placoderm phylogeny. — *Paleontographica* (A), 167: 10-76.
- YOUNG, G.C. & J.D. GORTER, 1981. A new fish fauna of Middle Devonian age from the Taemas Wee Jasper region of New South Wales. — BMR bulletin no. 209. Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics, Canberra, p. 83-130, 9 plates, 28 fig.



## PRODUCTION DE SAUMONNEAUX ET RECAPTURES DE SAUMONS ADULTES ÉTIQUETÉS À LA RIVIÈRE MATAMEC, CÔTE-NORD, GOLFE DU SAINT-LAURENT, QUÉBEC<sup>1</sup>

R. J. GIBSON

*Pêches et Océans Canada, Boîte postale 5667,  
St. John's, Terre-Neuve A1C 5X1*

et

Y. CÔTÉ

*Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec,  
9530 rue de la Faune, Orsainville, Québec G1G 5E5*

### Résumé

Nous avons effectué des estimations de population et des étiquetages de saumonnetaux à la rivière Matamec sur la Côte-nord du golfe du Saint-Laurent, Québec, entre 1974 et 1978. Vingt-sept étiquettes, soit 1,9% du nombre appliqué, furent récupérées sur des saumons adultes, dont neuf de la rivière Matamec, quinze des pêches commerciales de Terre-Neuve, une de la pêche commerciale du Cap-Breton, une de la pêche commerciale de la Côte-Nord du Québec et une d'une pêche commerciale en Norvège. Comme nous ne contrôlions qu'une partie des saumons adultes dans la rivière Matamec, le taux observé des retours (1,9%) a été haussé à 2,4%. La répartition corrigée des retours s'établit ainsi: 48,1% en provenance de la rivière Matamec, 43,2% des pêches de Terre-Neuve, 2,9% de la région de Sept-Îles, Québec, 2,9% du Cap-Breton, Nouvelle-Écosse et 2,9% de Norvège. La majorité des saumons repris dans la rivière Matamec (89%) avait séjourné un an en mer alors qu'au moins 82% des recaptures de la pêche commerciale provenait de poissons de deux ans de mer ou, à tout le moins, destinés à le devenir. La population de saumonnetaux a fluctué entre 1 186 en 1977 et 6 240 en 1974, soit une densité maximale de 2,6 saumons par 100 m<sup>2</sup>. L'habitat idéal des jeunes saumons étant limité à environ 19% de l'habitat accessible, on en infère qu'une bonne partie de la production viendrait de tronçons de rivière aux eaux lentes et profondes. En milieu boréal, les rivières à saumon de même physiographie que la Matamec peuvent être plus productives qu'on ne l'aurait pensé en ne considérant que l'habitat typique des jeunes saumons. Cette productivité en saumon serait favorisée par la rareté des poissons compétiteurs et prédateurs et par l'apport de plancton et autres éléments nutritifs dérivant des lacs. La longueur moyenne à la fourche des saumonnetaux (LF) variait de 14,2 centimètres à 14,7 centimètres au cours de quatre années d'étude, mais s'élevait à 15,3 centimètres en 1975 alors qu'une basse température a prolongé la descente. Une température de 9°C semble déclencher l'activité de migration des saumonnetaux.

### Abstract

Population estimates and tagging of smolt were conducted in the Matamec River on the North Shore of the Gulf St. Lawrence, Québec, between 1974 and 1978. Twenty-seven of the tags were recovered on adult salmon, nine in the Matamec, fifteen from the commercial fishery off Newfoundland, one from the commercial fishery off Cape Breton, one from the Québec North Shore commercial fishery and

<sup>1</sup> Contribution n° 56 de la Station de biologie de Matamec.

one from the commercial fishery off Norway. As only a proportion of the fish were examined in the Matamec River the observed recovery rate (1.9%) has been adjusted upward to 2.4% with corrected returns of 48.1% from the Matamec, 43.2% from the Newfoundland fishery, 2.9% from Sept-Iles, Québec, 2.9% from Cape Breton, and 2.9% from Norway. The majority (89%) of the recaptures in the Matamec River were 1-sea winter fish, whereas at least 82% of the captures in the commercial fishery were 2-sea-winter fish, or destined to become so. The smolt population varied from a low of about 1,186 in 1977 to highs of about 6,240 in 1974. The higher level gives a smolt production of about 2.6/100 m<sup>2</sup>. However, ideal juvenile salmon habitat is limited to about 19% of the available salmon habitat, so much of the production is from the deep slow areas. Boreal salmon rivers of this type may be more productive than would be estimated from available typical juvenile salmon rearing habitat, due to few piscine competitors and predators, and to input of plankton and other nutrients from lakes. The mean fork length of the smolt varied between 14.2 cm and 14.7 cm in four years, but was 15.3 cm in 1975 when cool weather prolonged the run. A temperature of 9°C appeared to be the threshold for active smolt migration.

### Introduction

La diminution dramatique des populations de saumons atlantiques (*Salmo salar* L.) de certaines régions de l'est du Canada, particulièrement au cours des dernières décennies, a suscité considérablement d'inquiétude. Plusieurs facteurs semblent avoir concouru à cette baisse, mais la surexploitation par les pêches et la détérioration des rivières passent pour en être les principaux, tout au moins au Nouveau-Brunswick (Elson, 1974; Paloheimo & Elson, 1974).

Le déclin des captures commerciales au Québec nous incite à croire que les stocks de saumons s'y sont affaiblis parallèlement à la diminution notée dans l'est du Canada. Cependant, la documentation scientifique ne contient pas d'analyse précise portant sur le statut des stocks de saumons de cette province.

Par l'étude d'un cas particulier, celui de la rivière Matamec, nous nous proposons de suppléer, en partie, à ce manque d'information. À cette fin, cet article vise trois objectifs principaux, soit de déterminer la production de saumonets de la Matamec, d'établir les lieux d'exploitation des saumons qui y originent et de voir comment l'exploitation des adultes affecte subséquemment la production de jeunes saumons. Au passage, nous ferons part de quelques observations portant sur les dates de migration des saumonets ainsi que leur taille.

### Matériel et méthodes

Nos travaux ont été réalisés à la rivière Matamec (50°18'N., 65°57'O.) où des études écologiques sont en cours depuis 1967 (Gibson, 1979). En plus de nos propres résultats, le présent article fera appel aux conclu-

sions de plusieurs des travaux d'autres chercheurs de la Station biologique de Matamec. Cette rivière draine un bassin de 684 km<sup>2</sup> et possède un débit moyen journalier annuel de 21,8 m<sup>3</sup>/s (Frenette, 1978). Une chute (la quatrième à partir de l'estuaire) localisée à 5,9 kilomètres de l'embouchure bloque la progression des saumons adultes vers l'amont, d'où leur nombre peu élevé dans cette rivière (Gibson, 1978a). Les autres chutes sont respectivement à 0,7 kilomètre, 2,4 kilomètres et 4,4 kilomètres de la mer.

À chaque printemps, depuis 1974, nous avons capturé des saumonets au moyen de verveux et de seines dans la rivière au pied de la seconde chute et dans l'estuaire. L'échantillonnage s'effectuait quotidiennement à ces deux sites pendant la période d'avalaison des saumonets. Après leur capture, ces derniers étaient transférés dans un bassin de rétention, anesthésiés au MS-222, mesurés à la fourche et marqués avec des étiquettes numérotées de type Carlin modifié (Saunders, 1968) que l'on fixait sous la nageoire dorsale. Puis les saumonets étaient placés dans un bassin de récupération. En 1978, les saumonets capturés dans l'estuaire furent pesés. On relâchait les poissons quand ils semblaient reprendre un comportement natatoire normal. Les estimations d'effectifs de saumonets ont été faites au moyen du modèle modifié de Petersen (Ricker, 1975), soit en utilisant les résultats des étiquetages printaniers (1976 et 1978), soit en prenant les recaptures faites à l'estuaire (1974, 1975 et 1977) de saumonets marqués au cours des étés précédant leur migration thalassique.

Les étiquettes reprises sur des saumons adultes viennent de deux sources: des pêcheurs commerciaux opérant en mer et de



nos propres prospections dans la rivière Matamec. Dans ce dernier cas, elles proviennent soit de poissons empruntant la passe migratoire localisée à 0,7 kilomètre de l'embouchure et dont la première année d'opération remonte à 1975, soit d'un filet-trappe disposé entre la deuxième et la troisième chute. L'opération des dispositifs expérimentaux se terminait en fin de septembre et ne permettait de contrôler qu'une partie des remontées d'adultes, ainsi sera-t-il nécessaire de corriger à la hausse le nombre d'étiquettes obtenues au moyen de ces engins. Les estimations du nombre de saumons adultes présents dans la rivière Matamec ont été faites en marquant les poissons à la passe migratoire et en les recapturant, en aval de la troisième chute, au moyen du filet-trappe. Le calcul des effectifs de saumons adultes a été fait de différentes façons (modèle modifié de Petersen, modèle de Schnabel et méthode proportionnelle), les données ne se prêtant pas toutes à un même traitement mathématique. La pêche sportive est prohibée depuis 1974 dans la rivière Matamec, depuis lors réservée à des fins de recherche scientifique.

Selon la terminologie proposée par l'ichthyologiste V. Legendre (comm. pers.), nous utiliserons les expressions suivantes pour décrire les différents stades de vie du saumon : saumonnet (smolt) ; saumon unibermarin (saumon d'un an de mer) ; dibermarin (deux ans de mer) ; rédibermarin (plusieurs années de mer). Le terme castillon sera réservé au saumon d'un an de mer, en voie de maturation sexuelle et de retour en rivière (Allan & Ritter, 1975).

## Résultats

### DESCENTE DES SAUMONNEAUX

Dans toutes les années d'observation, les saumonnet devinrent actifs alors que la température atteignait un maximum quotidien de 9°C ; à l'occasion, quelques individus ont été capturés avant ce moment. Au cours des années de notre étude, cette température fut habituellement atteinte entre les 6 et 16 juin. Les saumonnet nous parurent séjourner plusieurs jours aussi bien à la seconde chute que dans l'estuaire. En effet, environ 12% des saumonnet capturés à la deuxième chute et 18% des saumonnet de l'estuaire furent repris sur place en des journées successives, jusqu'à sept fois après leur marquage. Pour autant que les saumonnet non étiquetés se soient comportés de

cette façon, l'avalaison des saumonnet s'effectuerait plutôt lentement. Par exemple, en 1976, onze des saumonnet étiquetés en aval de la seconde chute furent recapturés dans l'estuaire. Ils avaient mis, en moyenne, 10,7 jours pour effectuer le trajet de 2,4 km séparant ces deux points, soit un écart de 7 à 12 jours entre les plus lents et les plus rapides. Un post-saumonnet a été capturé à la seine dans l'estuaire le 29 août 1976. Il mesurait 22,1 cm (LF) et pesait 92,8 g. L'examen des écailles révéla un âge de trois ans et celui des gonades indiqua qu'il s'agissait d'une femelle immature. La taille moyenne des saumonnet (tableau I) semble demeurer relativement constante et, sauf pour 1975, elle varie entre 14,2 et 14,7 cm. En 1975, les basses températures au moment de la descente des saumonnet ont retardé la migration jusqu'à la fin de juin et même jusqu'au début de juillet, permettant, semble-t-il, une croissance additionnelle en rivière et portant ainsi la taille moyenne à 15,3 cm, ce qui diffère significativement (test « *t* »,  $P < 0,01$ ) des moyennes des autres années. D'autre part, au cours de chacune des années, la taille moyenne des saumonnet pris dans l'estuaire était légèrement supérieure à celle des saumonnet capturés à la deuxième chute, répercussion probable des quelques jours de croissance supplémentaire gagnée au cours de leur descente jusqu'à l'estuaire.

### ESTIMATION DES EFFECTIFS DE SAUMONNET

Les effectifs de tacons pré-migrateurs sont consignés au tableau II, de même que les données ayant servi à les calculer. Seuls les tacons plus grands que 10 cm furent considérés aptes à émigrer au printemps suivant. Elson (1957) affirme en effet que la migration thalassique ne se produit pas chez de plus petits individus. Comme le marquage des tacons s'effectuait entre la mi-août et la fin d'août, c'est-à-dire à la fin de la période de croissance annuelle (Schiefer, 1969 ; Gibson, 1973), nous croyons que la croissance postérieure au marquage ne devrait pas biaiser sévèrement nos estimations. Toutefois, s'il existe une erreur liée à une croissance postérieure au marquage, alors nos estimations sous-évalueraient légèrement le nombre de tacons pré-migrateurs. D'autre part, les tailles moyennes assez élevées des saumonnet et les faibles écarts-types (tableau I) nous indiquent qu'au moment de la descente très peu d'individus comportaient une taille de 10 cm ou à peine supérieure. On peut

TABLEAU I

Tailles moyennes (et écart-type) des saumonceaux en période de dévalaison

<i>Période d'échantillonnage</i>	<i>Longueur à la fourche (cm) Deuxième chute</i>	<i>Longueur à la fourche (cm) Estuaire</i>	<i>Longueur à la fourche (cm) pour les deux groupes</i>
78-05-27 à 78-07-30	13,8 (0,13)	14,4 <sup>1</sup> (0,10)	14,2 (0,08)
77-06-03 à 77-07-30	14,5 (0,19)	14,9 (0,13)	14,7 (0,11)
76-06-06 à 76-07-09	14,4 (0,11)	14,6 (0,09)	14,6 (0,07)
75-06-02 à 75-06-21 <sup>2</sup>	14,3 (0,11)		
75-06-22 à 75-06-29	15,6 (0,24)		15,3 (0,08)
75-06-16 à 75-06-29		15,3 (0,10)	
75-06-30 à 75-07-04		16,2 (0,12)	
74-06-16 à 74-07-03	14,1 (0,10)	14,3 (0,08)	14,2 (0,06)
71-06-12 à 71-07-01	14,8 (0,17)		

<sup>1</sup> Les saumonceaux capturés dans l'estuaire en 1978 avaient un poids moyen de 28,5 g ( $S_x = 0,67$ ) et un coefficient  $K = 0,94$  ( $S_x = 0,0051$ ).

<sup>2</sup> La descente des saumonceaux en 1975 se répartissait chronologiquement d'une façon bimodale. De même en est-il aussi pour la distribution des tailles.

ainsi en inférer que la majorité des saumonceaux de la Matamec atteignent et dépassent même la taille minimale, les rendant aptes à émigrer, dès la fin de l'été précédant leur migration thalassique et que, de plus, très peu de tacons réussissent, par une croissance printanière rapide, à atteindre à ce moment la taille limite de 10 cm. Enfin signalons que la mortalité durant l'hiver précédant leur migration devait réduire subséquemment la population de tacons pré-migrateurs.

Les effectifs des saumonceaux d'avalaison sont rapportés au tableau III. L'examen des données de 1974 et 1977 nous incite à rejeter les estimations qui s'y rapportent puisque  $R$  est plus petit que 3 (Ricker, 1975). De plus, nous devons aussi écarter l'estimation s'appliquant à l'année 1975 (8 657 saumonceaux), qui nous paraît suspecte puisque les effectifs de tacons pré-migrateurs estimés à la fin de l'été de 1974 n'étaient que de 2 546 individus. Seules les estimation des années 1976 et 1978 nous semblent acceptables tant du point de vue de la statistique ( $R \geq 3$ ) que de celui de la cohérence des deux séries d'estimations (tableaux II et III).

Si nous comparons les estimations d'effectifs de saumonceaux en 1976 et 1978, à celles des tacons pré-migrateurs des années 1975 et 1977, on en déduit des taux de mortalité hivernale de 24% pour 1975-1976 et de 23% pour 1977-1978. Ces taux de mortalité sont très faibles par comparaison aux valeurs que l'on retrouve dans la documentation scientifique (Elson, 1962, 40%; Meister, 1962, 75%; Chadwick, comm. pers., 47%). Il est possible que nos calculs sous-estiment la mortalité dans la mesure où les effectifs de tacons pré-migrateurs seraient eux-mêmes sous-estimés. Nous ne pouvons écarter totalement cette possibilité; cependant nous croyons que cette sous-estimation devrait être minime pour les raisons mentionnées précédemment.

En appliquant un taux de mortalité de 25% aux effectifs de tacons pré-migrateurs des années 1973, 1974 et 1976 (tableau II), nous obtenons, pour les années de migration qui y correspondent, les estimations du nombre de saumonceaux. Il convient de mentionner que si le taux de mortalité de 25% sous-évalue la réalité, les estimations d'effectifs de saumonceaux qui en découlent

TABLEAU II

Estimations des effectifs de tacons pré-migrateurs calculés à la fin de l'été précédant leur migration thalassique

Année x	N. de tacons > 10 cm marqués (M)	N. de poissons échantillonnés à l'année x - 1 (C)	N. de recaptures (R)	Estimations d'effectifs pour l'année x (N)	Limites de confiance à 95%
1973	385	193	8	8 320	4 457-17 019
1974	232	306	27	2 546	1 774-3 792
1975	300	297	18	4 721	3 051-7 666
1976	252	49	7	1 581	821-3 329
1977	187	197	6	5 291	2 627-11 574

Note. M, C, R et N sont définis par Ricker, 1975. En 1977, 144 saumonneaux furent échantillonnés à l'estuaire (C) mais la vérification de l'ablation de nageoire n'a porté que sur 49 spécimens.

pourraient être, par voie de conséquence, légèrement sur-évaluées. Le tableau IV illustre, pour la période de 1974 à 1978, les estimations annuelles d'effectifs de saumonneaux qui nous semblent les plus réalistes.

#### ESTIMATION DES EFFECTIFS DE SAUMONS ADULTES

Les données ayant servi à estimer les effectifs de saumons adultes paraissent au tableau V. Puisque le rapport des sexes n'est pas le même chez les castillons que chez les saumons rédibermarins, nous avons tenu des compilations distinctes pour ces deux groupes. Nos données se prêtent à des calculs d'estimation d'effectifs pour chacune des années de 1975 à 1979 sauf en 1977 alors que l'absence presque totale de recaptures rend ce type de calcul impossible. Pour évaluer les nombres de castillons, nous avons utilisé la formule modifiée de Petersen. Toutefois, dans le cas des saumons rédibermarins, cette méthode de calcul n'a été applicable qu'en 1978. Les résultats des autres années ont été obtenus soit en utili-

sant la méthode des recaptures multiples de Schnabel (Ricker, 1975), soit en appliquant le rapport castillons : saumons rédibermarins des échantillonnages annuels aux valeurs estimées des effectifs de castillons. Le tableau VI indique les estimations d'effectifs obtenues au moyen de ces différentes méthodes de calculs.

#### RECAPTURES DE SAUMONS ÉTIQUETÉS

La liste des recaptures est présentée au tableau VII et leur localisation sur la figure 1. La majorité (15) des étiquettes retournées proviennent de Terre-Neuve; neuf (9) sont de la rivière Matamec, une (1) de la région de Sept-Iles, une (1) du Cap-Breton et une (1) de la Norvège.

Les recaptures issues de la pêche in-sulaire de Terre-Neuve furent faites entre le 31 mai et le 25 juillet. Cinq concernent des saumons dibermarins et neuf des poissons unibermarins. L'unique recapture effectuée à Hopedale, Labrador, fut celle d'un saumon

TABLEAU III

Estimations des effectifs de saumonneaux lors de la dévalaison printanière

Année	N. de saumonneaux étiquetés (M)	N. de saumonneaux échantillonnés (C)	N. de saumonneaux recapturés (R)	Estimations des effectifs (N)	Limites de confiance à 95%
1974	90	193	0	17 654	3 756-17 654
1975	140	306	4	8 657	3 865-21 643
1976	144	197	11	3 601	2 087-6 752
1977	74	144	1	5 438	1 648-9 886
1978	102	197	4	4 079	1 672-10 197

TABLEAU IV

Estimations les plus probables d'effectifs de saumonneaux pour les années 1974 à 1978

Année	$\hat{N}$	Limites de confiance à 95%	Données de base
1974	6 240	3 343-12 764	Tacons pré-migrateurs 1973
1975	1 910	1 331-2 844	Tacons pré-migrateurs 1974
1976	3 601	2 087-6 752	Saumonneaux 1976
1977	1 186	616-2 497	Tacons pré-migrateurs 1976
1978	4 079	1 672-10 197	Saumonneaux 1978

unibermarin, un premier septembre. Le saumon pris à l'île du Cap-Breton avait séjourné deux ans en mer et sa capture est datée du 28 juillet.

Les retours enregistrés dans la rivière Matamec se composent d'un saumon d'ibermarin et de huit castillons. Le taux moyen des recaptures s'établit donc à 1,9% et varie de 1,3% pour les saumonneaux marqués en 1976 à 2,8% pour ceux libérés en 1977. Le nombre de saumons étiquetés observés dans la Matamec sous-estime la réalité, puisque notre dispositif expérimental ne permettait pas de contrôler la totalité de la montée; si l'on en juge par les estimations d'effectifs des saumons adultes (tableaux VI et VII), environ 60 à 70% de la montée aurait été échantillonnée en 1975, 1976 et 1978. En 1977, le mauvais fonctionnement de la passe migratoire rend impossible la détermination du taux d'échantillonnage. Nous avons effectué un ajustement proportionnel au nombre observé de castillons étiquetés en comparant leurs nombres observés annuellement dans la Matamec aux nombres estimés de ce groupe d'âge pour les années 1975, 1976, 1978 et 1979. Les facteurs de correction pour chacune de ces années sont respectivement 1,65, 1,69, 1,40 et 1,40. Pour l'année 1977, en nous basant sur la valeur moyenne du nombre ajusté de castillons des autres années, nous avons estimé que 3 castillons étiquetés nous ont échappé. En tenant compte de ces considérations, le nombre ajusté de castillons étiquetés de retour à la Matamec, s'élèverait à 15 pour l'ensemble des saumonneaux marqués entre 1974 et 1978.

Comme nous n'avons observé, à Matamec, qu'un seul retour de saumon d'ibermarin étiqueté, il est impossible de déterminer exactement pour chacune des années le nombre ajusté d'étiquettes applicable à ce groupe d'âge. On peut toutefois fixer un

ajustement moyen en comparant le nombre total de saumons d'ibermarins observés (71) à leur nombre estimé (92), exclusion faite des résultats fragmentaires de 1977. Le nombre ajusté d'étiquettes de saumons d'ibermarins s'établit à 1,3 pour les quatre années d'observations, soit une moyenne annuelle de 0,33 étiquette. Cette moyenne, appliquée aux années 1975 à 1979, donne alors un total estimé à 1,7 étiquette.

Ainsi, pour l'ensemble des groupes d'âge, le nombre ajusté de saumons étiquetés de retour à la Matamec est estimé à 16,7 pour la période d'observation de 1975 à 1979, ce qui porte le taux moyen des recaptures à 2,4%. Ce taux de recapture est du même ordre de grandeur que celui rapporté par Saunders & Allen (1967) pour des saumonneaux de la rivière Miramichi Nord-Ouest (Nouveau-Brunswick), c'est-à-dire 3,6% (2,9% pour les castillons et 0,7% pour les saumons rédibermarins).

La répartition corrigée des étiquettes selon le lieu de leur reprise s'établit donc de la façon suivante: 48,1% dans la Matamec, 43,2% de la pêcherie commerciale de Terre-Neuve, 2,9% de la pêcherie commerciale de Sept-Iles, 2,9% de celle du Cap-Breton et 2,9% de Norvège. Cette répartition corrigée ne tient cependant pas compte de la possibilité que des pêcheurs ne nous aient pas informés de leurs prises de saumons étiquetés. Néanmoins, l'importance de la contribution d'une rivière de la Côte-Nord du Saint-Laurent aux pêches commerciales de Terre-Neuve s'en trouve démontrée. Une seule étiquette nous a été retournée de la partie méridionale du golfe du Saint-Laurent, notamment d'une région adjacente au détroit de Cabot. Il est étonnant de constater que la pêche commerciale de saumon dans la baie de Moisie, située quelques kilomètres à l'ouest de la Matamec, n'ait fourni qu'un seul retour d'étiquette. Pour autant que les

TABLEAU V

Données de base et méthodes de calcul utilisées pour estimer les effectifs de saumons adultes

Année	Passe migratoire		Filet-trappe				Nombre d'individus différents		Méthode d'estimation	
	Castillons (M)	Saumons rédibermarins (M)	Castillons (C)	(R)	Saumons (C)	(R)	Castillons	Saumons rédibermarins	Castillons	Saumons rédibermarins
1975	77	17	13	7	5	0	83	22	Petersen modifié	Proportionnelle
1976	17	3	42	8	27	0	51	30	Petersen modifié	Schnabel
1977	1	0	1	1	23	0	1	23	Aucune estimation	
1978	32	3	33	15	8	2	50	9	Petersen modifié	Schnabel
1979	31	6	23	12	4	0	42	10	Petersen modifié	Proportionnelle

Note : M, C et R sont définis par Ricker, 1975.

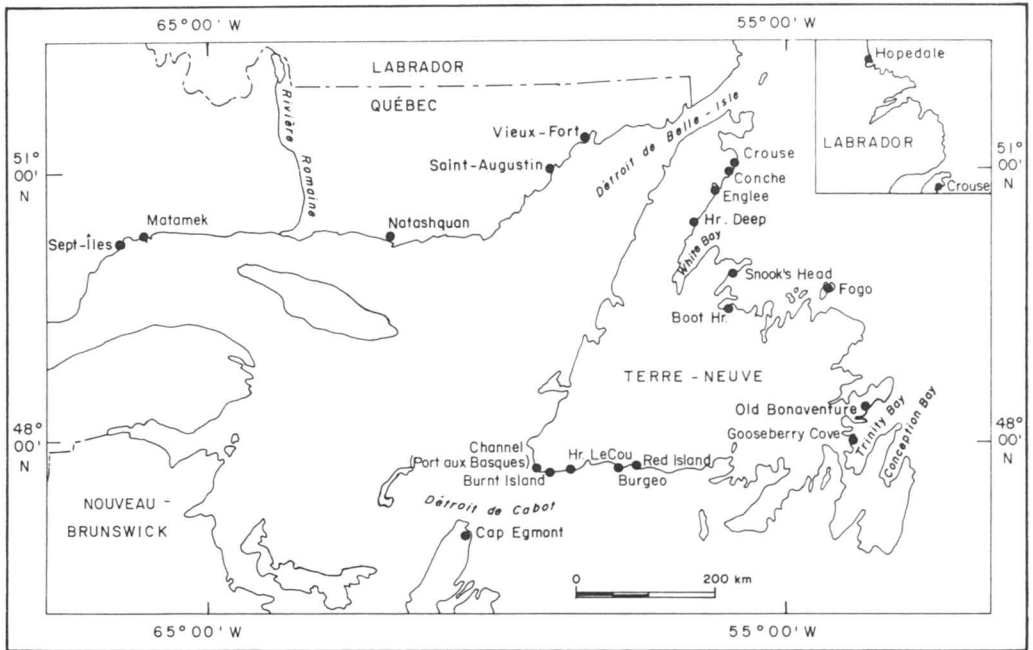


Figure 1. Nom des localités et lieux de recapture de saumons mentionnés dans le texte.

pêcheurs n'aient pas caché systématiquement les prises de saumons étiquetés, l'explication pourrait en être que les saumons approchent la Matamec en venant du large ou encore de l'est. Jusqu'à tout récemment, il n'y avait pas de pêche commerciale dans la région immédiatement adjacente à l'est de Matamec.

Le cas du saumon étiqueté, repris en Norvège, est unique en ce sens qu'il constitue le premier rapport authentifié d'un saumon nord-américain, ayant traversé l'Atlantique nord dans une direction ouest-est. Il s'agissait vraisemblablement d'un saumon égaré de sorte que le taux de retour de 2,9% qu'on lui a attribué est fort probablement exagéré. Il existe un cas analogue: un saumon étiqueté dans la mer du Labrador fut recapturé dans la rivière Dee en Écosse (D. Reddin, comm. pers.), mais il pouvait être natif de l'Europe. Des saumons d'origine européenne se retrouvent en effet dans la mer du Labrador car il y a eu des captures, au large de Terre-Neuve, de saumons originellement étiquetés en Écosse et en Angleterre. G. Struthers (comm. pers.) nous a rapporté trois recaptures de saumons faites à Terre-Neuve (Stone Valley et Croque) et au Labrador (Henley Harbour). Ces poissons avaient été marqués au stade de saumonneaux et libérés de rivières écossaises.

A. Swain (comm. pers.) nous a aussi informés de la recapture de deux poissons d'abord étiquetés et libérés à l'état de saumonneaux dans la rivière Ure, Yorkshire,

TABLEAU VI

Estimations des effectifs de saumons adultes pour les années 1975 à 1979<sup>1</sup>

Année	Castillons		Saumons rédibermarins	
	N	L.C. (95%)	N	L.C. (95%)
1975	137	(83-288) <sup>2</sup>	36	(22-76)
1976	86	(51-176)	30	(30-48)
1977	—	—	—	—
1978	70	(50-119)	12	(9-23)
1979 <sup>3</sup>	59	(35-107)	14	(10-25)

<sup>1</sup> À la suite d'un examen critique des données de base, les valeurs que nous présentons ici peuvent différer légèrement de celles contenues dans les différents rapports annuels de la Station de Matamec.

<sup>2</sup> Toutes les valeurs inférieures des intervalles de confiance ont été remplacées par les nombres différents d'individus observés dans les échantillonnages annuels puisque ces nombres observés étaient plus élevés que les valeurs calculées.

<sup>3</sup> Les données ayant servi à cette estimation nous ont été communiquées par F. Whoriskey et R. Naiman.

Angleterre; un de ces saumons a été repris à Black Island dans la région de Nain au Labrador et l'autre à Croque, White Bay, Terre-Neuve.

### Discussion

#### PRODUCTION DE SAUMONNEAUX

Les populations de saumonneaux ont fluctué considérablement au cours des cinq années d'observation, soit de 1 186 (en 1977) à 6 240 (en 1974). Whoriskey *et al.* (1980) ont estimé la population des saumonneaux de 1979 à 5 140 individus (L.C. 2 290-9 920). Leur évaluation se fonde sur une expérimentation identique à la nôtre quoiqu'ils aient manqué une semaine d'observation au début de la migration. La moyenne de toutes les estimations disponibles est 3 693 (E.T.  $\pm$  1 908). Malheureusement l'absence de moyen efficace pour effectuer une numération précise des effectifs de saumon-

neaux entache les estimations de population d'une certaine imprécision qui, statistiquement, se traduit par des intervalles de confiance plutôt grands. La technique de capture-recapture implique, pour être valide, que les saumonneaux étiquetés à la deuxième chute aient autant de chance d'être repris dans l'estuaire que tous les autres saumonneaux. Bien que nous ayons procédé à des opérations de seinage deux fois par jour dans l'estuaire, pendant toute la durée de la descente, nous ne savons pas si tous les saumonneaux séjournent pendant une même durée à cet endroit. Cependant, les recaptures répétées indiquent que, sur la courte période pendant laquelle s'étend la migration, les saumonneaux passent quelques jours dans l'estuaire avant de le quitter. Les fluctuations annuelles du nombre des saumonneaux peuvent être dues, en partie, à des variations dans l'abondance des géniteurs. Nous ne possédons cependant pas les données suffisantes pour établir une courbe

TABLEAU VII

Dates, lieux et taux de recapture des saumons adultes. Le regroupement a été effectué en fonction de l'année du lâcher. Le taux ajusté de recapture tient compte de la proportion non contrôlée par les dispositifs de comptage. Les nombres de saumonneaux étiquetés apparaissent entre parenthèses dans la quatrième colonne

<i>Date de l'étiquetage</i>	<i>Lieu de recapture</i>	<i>Date de recapture</i>	<i>Taux observé de recapture (%)</i>	<i>Taux ajusté de recapture (%)</i>
74-06-29	Harbour Le Cou, T.-N.	75-07-10		
74-06-21	Matamec	75-07-17		
74-06-26	Old Bonaventure, T.-N.	76-06-18	1,5	1,7
74-06-29	Matamec	76-06-18	(270)	
75-06-17	Burgeo, T.-N.	76-07-15		
75-06-21	Matamec	76-08-15		
75-06-17	Matamec	76-08-23		
75-06-14	Hopedale, Labrador	76-09-01		
75-06-18	Fogo D., T.-N.	77-06-02	1,4	1,8
75-06-19	Norvège	79-09	(440)	
76-06-12	Burgeo, T.-N.	78-05-31		
76-06-19	Port-aux-Basques, T.-N.	78-06	1,3	2,8
76-06-19	Burnt Island, T.-N.	78-06-13	(227)	
77-06-13	Harbour Deep, T.-N.	78-07		
77-06-16	Goose Berry Cove, T.-N.	78-07-10		
77-06-13	Matamec	78-07-17		
77-06-17	Matamec	78-07-19		
77-06-15	Snook's Head, T.-N.	78-07-25	2,8	3,5
77-06-16	Matamec	78-09-13	(218)	
78-06-03	Boot Harbour, T.-N.	79-06-23		
78-06-16	Englee, T.-N.	79-06-29		
78-06-21	Red Island, T.-N.	79-07-02		
78-06-16	Matamec	79-07-10		
78-06-28	Crouse Conche, T.-N.	79-07-18		
78-06-15	Matamec	79-08-25		
78-06-13	Cape Egmont, N.-É.	80-07-28	2,7	3,1
78-06-02	Sept-Îles, Québec	80-06	(299)	

de recrutement. D'autre part, Frenette (1978) a trouvé des corrélations significatives entre la densité des tacons et les débits de la rivière, ce qui pourrait aussi expliquer une partie de la variabilité annuelle des résultats.

Il semble donc que la rivière Matamec puisse produire en moyenne 3 700 saumonnes annuellement; la superficie totale de rivière disponible pour le saumon en haut de la première chute étant de 242 663 m<sup>2</sup> ou 2 427 unités de production, celle-ci s'établit ainsi à 1,5 saumonnes/100 m<sup>2</sup>. Elson (1975) a suggéré que le niveau maximal de production d'une rivière se situe à 6 saumonnes par 100 m<sup>2</sup> alors que Symons (1979) précise que la productivité maximale d'une rivière fabriquant ses saumonnes en 3 ans (l'âge des saumonnes de la rivière Matamec) se chiffre à environ 2/100 m<sup>2</sup>; cette dernière valeur se situe très près de nos observations.

Nous trouvons dans la Matamec une variété d'habitats. Les eaux rapides et peu profondes, habituellement considérées comme l'habitat préféré des tacons (Elson, 1975), supportent effectivement les densités les plus élevées de saumons juvéniles, soit 20 tacons par 100 m<sup>2</sup> (Gibson, 1978b et données non publiées). La place occupée par cet habitat de haute qualité n'est cependant que de 19% de la superficie disponible entre la première et la quatrième chute (Frenette, 1978). Une bonne partie de l'habitat à tacons se retrouve dans des tronçons de rivière aux eaux lentes et profondes qui soutiennent des densités d'environ 5 tacons par 100 m<sup>2</sup>. La production obtenue à Matamec dans ce second type d'habitat semble plus élevée que dans des habitats identiques de rivières plus méridionales (Elson, 1975). La rareté des poissons compétiteurs ou prédateurs dans ces tronçons de la rivière Matamec (Power *et al.*, 1973) pourrait expliquer cette situation. En effet, dans des rivières comportant une plus grande diversité d'espèces de poissons, les tacons sont rares dans ce genre d'habitat. Enfin, on retrouve deux sections à écoulement torrentiel sur fond de galets et de roche-mère. Ces habitats comprennent 9% de la superficie disponible entre l'estuaire et la quatrième chute. Quoique quelques tacons aient été pêchés au voisinage de ces zones, leur nombre, dans ce type d'habitat, nous est apparu très faible.

Selon Symons (1979), un dépôt minimum de 165 à 220 œufs par 100 m<sup>2</sup> de lit de rivière

serait requis pour assurer une production maximale de saumonnes de trois ans. Le nombre d'œufs nécessaires à l'ensemencement des seules superficies d'habitat typique de la rivière Matamec, se situe entre 75 200 et 100 300. Cependant, si nous prenons en considération la totalité de la surface disponible au saumon, le nombre d'œufs requis s'établirait entre 390 500 et 535 900. Le dépôt virtuel d'œufs calculé d'après les estimations de populations d'adultes fut: en 1975, 160 000, en 1976, 150 000 et en 1978, 65 400. Les géniteurs de la montaison de 1975 semblent avoir produit, en 1978, des densités de peuplement de tacons se situant près des nombres maximums estimés au cours de huit années d'observations à Matamec (données non publiées). Cette remarque porte à croire que la densité du dépôt d'œufs applicable au cas de la Matamec se situe à l'intérieur de l'intervalle proposé par Symons (1979) et doit se calculer sur plus que la superficie d'habitat typique. Soulignons que des calculs du nombre d'œufs requis établis en comptant toute la surface de lit disponible d'une rivière pourraient s'avérer faux pour des cours d'eau de même physiographie que la Matamec si ceux-ci offraient une plus grande diversité de peuplements de poissons.

#### EXPLOITATION DES SAUMONS

La majorité des recaptures faites en pêche commerciale proviennent de Terre-Neuve (15 étiquettes sur un total de 17). Ces recaptures se rapportent à des saumons unibermarins (67%) et dibermarins (33%). Toutefois, il semble que quelques saumons d'un an de mer pris à Terre-Neuve se destinaient à poursuivre leur séjour marin pour une autre année. En effet, certains de ces saumons unibermarins, même s'ils n'avaient pas été capturés, ne disposaient plus, au moment de leur capture, du temps suffisant pour atteindre Matamec au même moment que le contingent des remontées annuelles. Cette assertion tient compte des dates des captures à Terre-Neuve, des dates des remontées en rivière, de la distance qui sépare Matamec des lieux de capture et de la vitesse de natation des saumons.

Belding & Préfontaine (1961) ont estimé la vitesse moyenne de migration du saumon à 20 km/jour; cependant, cette estimation est probablement trop faible puisque des évaluations plus récentes se fondant sur des études menées à Terre-Neuve porteraient à 32 km/jour, la vitesse moyenne de migration



entre Terre-Neuve et les rivières du continent (H. Lear, comm. pers.). Si, donc, nous utilisons cette dernière valeur, il faudrait 26 jours à un saumon se dirigeant vers Matamec pour contourner le détroit de Cabot au sud-ouest de Terre-Neuve (830 km) avant d'atteindre sa rivière. Il lui en faudrait 56 en partant de Trinity Bay sur la côte sud-est (1 800 km); 71 en partant de White Bay sur la côte nord-est (2 276 km). Ces laps de temps présupposent une voie de migration qui passe par Port-aux-Basques, ce qui, de toute évidence, semble être la route qu'empruntent les saumons de la Côte-Nord (Belding & Préfontaine, 1961). Si les saumons capturés à White Bay et à Hopedale devaient prendre un chemin plus court en passant par le détroit de Belle-Isle, il leur faudrait 44 jours pour franchir les 1 410 kilomètres séparant White Bay de Matamec et 65 jours pour couvrir la distance de Hopedale à leur rivière natale (3 206 km). Comme les arrivées de saumons à la rivière Matamec sont virtuellement complétées vers le 15 août (Schiefer, 1969), les saumons qui y parviennent à cette date, ou avant, doivent avoir quitté Port-aux-Basques au plus tard vers le 5 juillet, Trinity Bay avant le 5 juin, White Bay avant le 21 mai (ou le 3 juillet par le chemin le plus court) et Hopedale avant le 22 avril (ou le 11 juin par l'autre trajet). Neuf des dix recaptures de saumons unibermarins (ou sept, si on accepte la possibilité d'une voie plus courte), n'auraient pas pu ainsi arriver à temps à Matamec pour faire partie du contingent de la migration annuelle; ceci implique que la proportion des saumons dibermarins, ou destinés à le devenir, capturés par la pêche commerciale de Terre-Neuve devrait se chiffrer à 94% ou, au minimum à 85%. Il en ressort donc que la majorité des saumons de Matamec exploités en pêche commerciale sont au moins en puissance des saumons dibermarins et que les castillons sont pratiquement inexploités.

#### EFFETS DE L'EXPLOITATION SUR LES POPULATIONS DE GÉNITEURS ET DE JUVÉNILES

Au cours des dernières années, le nombre de saumons dibermarins dans les remontées de rivière Matamec a décliné parallèlement à la disparition presque totale des gros saumons de montée hâtive (Gibson, 1978a). Nous présumons que ces changements pourraient être consécutifs à l'exploitation sélective des grands saumons par la pêche commerciale. En 1967, le rapport des castillons: grands saumons était de 1,1: 1,0

dans la Matamec (Schiefer, 1969), alors qu'il est récemment passé à 3,8: 1,0 pour les années 1975-1979 (tableau VI), à cause surtout de la diminution du nombre de saumons rédibermarins. Ce changement dans la structure d'âge de la population des adultes s'est accompagné d'un changement du rapport des sexes chez les saumoneteaux d'avalaison. En 1967, le rapport des mâles: femelles chez les saumoneteaux se situait au voisinage de 1: 1 (Schiefer, 1969) alors qu'en 1976, il passait à 1: 3,7 en faveur des femelles (Gibson, 1978a).

Ces deux séquences d'événements seraient reliées l'une à l'autre de la façon suivante. On sait par les travaux de Schiefer (1969) que les grands saumons de la Matamec comprennent une majorité de femelles (65%) alors que l'inverse prévaut chez les castillons (6%). Puisque l'abondance des tacons dans la rivière a diminué parallèlement à la baisse du nombre de grands saumons (Gibson, 1978a), on peut croire que le dépôt virtuel d'œufs, qui dépend largement des femelles dibermarines, a lui aussi accusé une diminution. En outre, la réduction des effectifs des saumons juvéniles s'est trouvée compensée par une croissance plus rapide des tacons, qui, à son tour, s'est accompagnée d'une incidence plus grande de la précocité sexuelle chez les tacons mâles (Gibson, 1978a), phénomène dont on pense qu'il entraîne une augmentation de la mortalité hivernale des mâles au stade du pré-saumoneteau (Osterdahl, 1967). Cette séquence logique expliquerait alors le changement du rapport mâles: femelles chez les saumoneteaux.

On ne peut que spéculer sur la relation qui pourrait exister entre tous ces phénomènes et surtout leur raison d'être. Nous formulons l'hypothèse de l'existence chez les populations de *Salmo salar* d'un mécanisme adaptatif susceptible de réagir à une augmentation du taux de mortalité marine en favorisant la maturation sexuelle d'un plus grand nombre d'individus à un âge plus jeune de façon à compenser l'augmentation du taux de mortalité. Ce processus entraînerait une maturation plus fréquente à l'état de castillon chez la femelle et au stade du tacon chez le mâle. Si cette hypothèse est juste et si les pêches commerciales de Terre-Neuve exploitent sélectivement les grands saumons, alors graduellement l'importance numérique des saumons rédibermarins devrait s'atténuer tandis que les castillons devraient comprendre une proportion

croissante de femelles. Il semble clair que l'abondance des grands saumons a diminué depuis 1967 dans la Matamec; on ignore toutefois, pour le moment, si le rapport des sexes est en voie de mutation chez les castillons de cette rivière.

### Conclusion

Prenant pour exemple la rivière Matamec, il semble que les rivières de la Côte-Nord puissent être plus productives que ne l'aurait laissé croire une évaluation ne tenant compte que de l'habitat typique des jeunes saumons. Cette situation s'explique probablement par le nombre restreint d'espèces de poissons compétiteurs et prédateurs dans les habitats de moindre qualité et aussi par la présence, dans les écosystèmes boréaux, de lacs qui alimentent le réseau fluvial de plancton ou autres éléments nutritifs (Gibson, 1978b; Gibson & Galbraith, 1975). D'autre part, les rivières de la Côte-Nord semblent contribuer d'une façon importante aux pêches commerciales le long des côtes de Terre-Neuve. Or, des développements hydro-électriques sont envisagés pour certaines rivières de la Côte-Nord. Si ces projets se réalisaient, ils pourraient accélérer davantage la diminution des stocks de saumon par perte d'habitat ou autrement. Dans ces circonstances, le niveau d'exploitation des pêches commerciales côtières et des pêches sportives devra être ajusté proportionnellement aux pertes encourues par les stocks, de manière à prévenir la surexploitation des ressources restantes.

### Remerciements

Le travail de terrain sur lequel se base notre étude a été financé par *Atlantic Foundation* et par *Woods Hole Oceanographic Institution*. Nous sommes aussi redevables au personnel de la Station biologique de Matamec, en particulier F.G. Whoriskey Jr. et T.A. Dickson. Monsieur Kjell Germeten du ministère norvégien des Pêches nous a gracieusement fourni les renseignements concernant la recapture d'un saumon en Norvège; enfin, monsieur T.R. Porter nous a fait part de commentaires très pertinents sur notre travail.

### Références

- ALLAN, I.R.H. & J.A. RITTER, 1975. A revised terminology list for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). — Int. Counc. Expl. Sea, C. M. (1975)/7, 5 p.
- BELDING, D.L. & G. PREFONTAINE, 1961. A report on the salmon of the North Shore of the Gulf of St. Lawrence and of the Northeastern Coast of Newfoundland. — Contr. Dep. Pêch. Québec, n. 82, 104 p.
- ELSON, P.F., 1957. The importance of size in the change from parr to smolt in Atlantic salmon. — Can. Fish Cult., 21: 1-6.
- ELSON, P.F., 1962. Natural survival rates of Atlantic salmon. — Ann. Rep. St. Andrews Biol. Stn Contr., no. 67, p. 148-151.
- ELSON, P.F., 1974. Impact of recent economic growth and industrial development on the ecology of Northwest Miramichi Atlantic salmon (*Salmo salar*). — J. Fish. Res. Bd Can., 31: 521-544.
- ELSON, P.F., 1975. Atlantic salmon rivers, smolt production and optimal spawning: an overview of natural production. — Int. At. Salm. Fdn Spec. Publ. Ser., no. 6, p. 96-119.
- FRENETTE, M., 1978. Caractéristiques d'écoulement en relation avec la productivité et la survie des salmonidés dans la rivière Matamec. — Centreau, Univ. Laval, CRE-78/01, 43 p.
- GIBSON, R.J., 1973. The interrelationships of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill), and juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. — Thèse de doctorat, Univ. Waterloo, 163 p.
- GIBSON, R.J., 1975. Matamec annual report. — Woods Hole Oceanogr. Inst. Tech. Rep. WHOI-75-62, 121 p.
- GIBSON, R.J., 1977. Matamec annual report for 1976. — Woods Hole Oceanogr. Inst. Techn. Rep. WHOI-77-28, 116 p.
- GIBSON, R.J., 1978a. Recent changes in the population of juvenile Atlantic salmon in the Matamec River, Québec, Canada. — J. Cons. int. Explor. Mer, 38: 201-207.
- GIBSON, R.J., 1978b. Matamec annual report for 1977. — Woods Hole Oceanogr. Inst. Tech. Rept. WHOI-78-92, 136 p.
- GIBSON, R.J., 1979. Salmon research at the Matamec Research Station. — At. Salm. J., 1: 29-31.
- GIBSON, R.J., & D. GALBRAITH, 1975. The relationship between invertebrate drift and salmonid populations in the Matamec River, Québec, below a lake. — Trans. Am. Fish. Soc., 104: 529-535.
- MEISTER, A.L., 1962. Atlantic salmon production in Cove Brook, Maine. — Trans. Am. Fish. Soc., 91: 208-212.
- OSTERDAHL, L., 1967. Sex and age of migrating smolts in the River Ricklean. — Int. Counc. Expl. Sea, C.M. (1967)/16, 5 p.
- PALOHEIMO, J.E. & P.F. ELSON, 1974. Reduction of Atlantic salmon (*Salmo salar*) catches in Canada attributed to the Greenland fishery. — J. Fish. Res. Bd Can., 31: 1467-1480.

- POWER, G., G.F. POPE & B.W. COAD, 1973. Post-glacial colonization of the Matamek River by fishes. — J. Fish. Res. Bd Can., 30: 1586-1589.
- RICKER, W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. — Bull. Fish. Res. Bd Can., no. 191, 382 p.
- SAUNDERS, R.L., 1968. An evaluation of two methods of attaching tags to Atlantic salmon smolts. — Prog. Fish. Cult., 30: 104-109.
- SAUNDERS, R.L. & K.R. ALLEN, 1967. Effects of tagging and of finclipping on the survival and growth of Atlantic salmon between smolt and adult stages. — J. Fish. Res. Bd Can., 24: 2595-2611.
- SCHIEFER, K., 1969. Ecology of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the Matamek River System. — M. Sc. thesis, Univ. Waterloo, 63 p.
- SYMONS, P.E.K., 1979. Estimated escapement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) for maximum smolt production in rivers of different productivity. — J. Fish. Res. Bd Can., 36: 132-140.
- WHORISKEY, F.F., R.J. NAIMAN & M. CRITCHLEY, 1980. Atlantic salmon studies. — Pages 119-122 in E.J. Naiman, Matamek annual report for 1979. Woods Hole Oceanogr. Inst. Tech. Rep. WHOI-80-31, 269 p.



## SYNCHRONISME RÉGIONAL DES CRUES ANALYSE MATHÉMATIQUE<sup>1</sup>

J. LLAMAS et B. TYANO

*Département de génie civil, Université Laval, Québec G1K 7P4*

### Résumé

La connaissance de la fonction de distribution d'une variable hydrologique constitue l'étape finale de la recherche en vue de comprendre toutes ses propriétés statistiques et son comportement probable à court et à long terme. Dans cette étude, on analyse, par un modèle mathématique, le débit d'une rivière en aval d'un tributaire lorsque les caractéristiques hydrologiques d'une section amont ainsi que celles du tributaire sont connues. Les postulats de cette analyse sont les suivants: a) Les deux séries originales (débits amont) sont indépendantes au point de vue autocorrélation, mais avec un coefficient de corrélation significatif; ce postulat se justifie par la proximité entre les systèmes hydrologiques de la rivière et de son tributaire. b) Les séries originales sont composées par des variables aléatoires assimilables aux variables de type gamma. L'étude contient une application du modèle mathématique sur le fleuve Saint-Laurent dans la région de Montréal. Les programmes de calcul sont disponibles au Centre de recherches sur l'eau de l'Université Laval dans les langages APL et FORTRAN.

### Abstract

Acquiring a knowledge of the distribution function of an hydrologic variable is the main step of a research carried out to understand its statistical properties and its probable short and long-term behavior. In this paper the analysis of the river flow in a section downstream to a tributary has been done, the hydrologic characteristic of an upstream section as well as those of the tributary being previously known. The postulates of this analysis are as follows: a) The two original series (upstream flows) are independent in respect to autocorrelation but mutually correlated. This postulate is justified by the proximity between the hydrologic systems of the river and its tributary. b) The original series are made of random variables of gamma type. The study includes an application of this mathematical model to the St. Lawrence river in the Montréal region. Softwares for calculations are available at the Centre de recherches sur l'eau of Laval University, in APL and FORTRAN.

### Introduction

La simulation du débit d'une rivière en aval d'un tributaire, lorsqu'on en connaît les caractéristiques hydrologiques ainsi que celles de la rivière en amont de la confluence, est très utile en hydrologie.

Au Canada, ce type de simulation s'avère nécessaire à cause des dimensions considérables des bassins et du nombre relativement faible de stations de jaugeage à durée d'enregistrement suffisamment grande. Eu égard aux caractéristiques géomorphologiques particulières de la plupart de nos bas-

sins, qui reflètent le travail d'érosion des dernières glaciations, le modèle hydrographique prédominant est celui où la densité de drainage est très faible et par conséquent chacun des tributaires joue un rôle capital dans la formation du débit du cours d'eau principal. Ce rôle peut varier suivant les saisons et suivant les conditions hydrologiques particulières des bassins drainés; il peut être décisif au moment d'une crue si les deux hydrogrammes coïncident dans leurs maximums ou, par contre, il peut contribuer à moduler les conditions extrêmes (crues ou étiages). L'étude du synchronisme

<sup>1</sup> Contribution au programme du Centre de recherches sur l'eau (CENTREAU) et de la Faculté des sciences et de génie de l'Université Laval.

ou du déphasage des hydrogrammes dans un embranchement est un problème statistique, en raison du caractère aléatoire des deux variables composantes, et c'est par des méthodes statistiques qu'il doit être abordé.

Il va sans dire qu'à chaque instant le débit aval est la somme des deux composantes amont. C'est également vrai au point de vue fréquence lorsque les deux composantes appartiennent à la même région hydrologique, c'est-à-dire lorsqu'existe entre elles une dépendance telle que les débits ayant la même période de retour soient concomitants. En termes de statistique, on peut dire que si le coefficient de corrélation entre les débits en amont et ceux des tributaires est égal à 1, la fonction de distribution du débit en aval se calcule simplement par l'addition des deux séries originales et son ajustement à une loi connue peut être fait par des méthodes classiques.

Par ailleurs, il y a le cas où les deux cours d'eau (aval de la rivière et tributaire) appartiennent à deux régions hydrologiques complètement différentes, ou, en d'autres mots, lorsque le coefficient de corrélation entre les séries historiques est égal à zéro ou très près de zéro. Encore ici la solution du problème est simple, car la fonction de densité des probabilités du débit aval est la convolution entre les fonctions de densité des deux fonctions originales.

Le cas le plus courant est cependant celui où le coefficient de corrélation se trouve compris entre ces deux valeurs limites et relativement éloigné de chacune d'elles (par exemple  $\rho = 0,4$  ou  $0,7$ ). Le critère de dépendance ou d'indépendance peut être, à la rigueur, établi suivant l'un des tests statistiques connus (le test d'Anderson par exemple). Mais la valeur de ces tests au point de vue décisionnel est fort discutable, surtout lorsqu'il s'agit de décisions économiques et pour l'analyse des valeurs extrêmes (crues et étiage). En effet, d'une part les tests sont largement influencés par la grandeur des échantillons et, d'autre part, l'erreur du type 1 que l'on fixe *a priori* est précisément l'un des objectifs de l'analyse économique finale que l'on vise dans l'étude des valeurs extrêmes de débit.

C'est de cette situation de coefficients de corrélation intermédiaires que nous discutons dans les paragraphes qui suivent, en utilisant la théorie des fonctions de densité bidimensionnelles.

En général, on peut dire que le débit moyen d'une rivière, à l'échelle annuelle, constitue une variable aléatoire indépendante et stationnaire (au moins de deuxième ordre), ayant sa propre fonction de distribution (Markovic, 1965). Dans ce cas, l'analyse statistique dont il est question ici, peut être faite sans aucune transformation des valeurs originales. Cependant, lorsque l'échelle du débit est plus petite que celle de l'année (débit moyen mensuel, hebdomadaire, journalier, etc.), on se retrouve avec une situation quelque peu différente. En effet, la dépendance séquentielle hautement significative créée par les différents cycles hydrologiques, exige une transformation de la variable de façon à séparer les composantes déterministes et aléatoires et à élaborer l'étude statistique uniquement sur cette dernière. Cette transformation se fait suivant les techniques de modélisation mathématique et constitue l'un des domaines de recherche des plus intéressants en hydrologie stochastique.

La fonction gamma a été choisie dans cette étude pour les raisons suivantes :

1. En général le coefficient d'asymétrie de la plupart des variables hydrologiques est assez différent de zéro.
2. La fonction gamma possède de remarquables qualités d'ajustement aux valeurs extrêmes et des propriétés additives sous certaines conditions. De plus, elle peut être inversée facilement.
3. La fonction gamma à deux paramètres permet la génération facile des nombres aléatoires appartenant à cette population.

### Développement mathématique

Soit deux variables aléatoires  $W$  et  $Z$  dont la fonction de densité de probabilité conjointe est de type normal.

$$g(w, z) =$$

$$\frac{1}{2\pi(1-\rho^2)^{1/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} (w^2 - 2\rho wz + z^2) \right]$$

pour  $-\infty < w, z < \infty$  (1)

$\rho$  étant le coefficient de corrélation entre les deux variables.

Soit, maintenant, la transformation suivante :

$$U = \Phi(W) \text{ et } V = \Phi(Z)$$

où le symbole  $\Phi$  représente la fonction de distribution normale standardisée, c'est-à-dire :

$$U = \Phi(W) = \int_{-\infty}^W (2\pi)^{-1/2} \exp(-1/2 t^2) dt, \quad \text{avec } W = \Phi^{-1}(U) \quad (2)$$

$$V = \Phi(Z) = \int_{-\infty}^Z (2\pi)^{-1/2} \exp(-1/2 t^2) dt, \quad \text{avec } Z = \Phi^{-1}(V) \quad (3)$$

Alors U et V ont une distribution conjointe du type uniforme à deux variables. Donc,

$$h(u, v; \rho) = g(w, z) |J|^{-1}$$

La valeur du Jacobien est :

$$J = \frac{du}{dw} \frac{dv}{dz} \quad \text{et alors } |J|^{-1} = \frac{dw}{du} \frac{dz}{dv}$$

$$\frac{dw}{du} = (2\pi)^{1/2} \exp\left(\frac{w^2}{2}\right) = (2\pi)^{1/2} \exp\left[1/2 \{\Phi^{-1}(u)\}^2\right]$$

$$\frac{dz}{dv} = (2\pi)^{1/2} \exp\left[1/2 \{\Phi^{-1}(v)\}^2\right]$$

alors la fonction de densité uniforme à deux variables est :

$$h(u, v; \rho) = (1 - \rho^2)^{-1/2} \exp M_1 \quad (4)$$

où

$$M_1 = \frac{-\rho^2}{2(1-\rho^2)}$$

$$\left[ \{\Phi^{-1}(u)\}^2 - \frac{2}{\rho} \Phi^{-1}(u) \Phi^{-1}(v) + \{\Phi^{-1}(v)\}^2 \right] \quad (5)$$

Soit X et Y deux nouvelles variables définies de la façon suivante :

$$U = \frac{1}{m_1 k_1 \Gamma(k_1)} \int_0^X t^{k_1-1} \exp\left[-\frac{t}{m_1}\right] dt = F(X), \quad \text{pour } 0 \leq X < \infty \quad (6)$$

$$V = \frac{1}{m_2 k_2 \Gamma(k_2)} \int_0^Y t^{k_2-1} \exp\left[-\frac{t}{m_2}\right] dt = F(Y), \quad \text{pour } 0 \leq X < \infty$$

où  $F(X)$  et  $F(Y)$  représentent deux fonctions de distribution du type gamma.

La fonction de densité de probabilité conjointe de X et Y est :

$$f(x, y) = g(w, z; \rho) |J|^{-1} =$$

$$g(x, z; \rho) \frac{dw}{du} \frac{du}{dz} \frac{dz}{dv} \frac{dv}{dy} \quad (7)$$

$$f(x, y) = \frac{\exp M_2}{(1 - \rho^2)^{1/2}} \frac{x^{k_1-1} y^{k_2-1}}{m_1^{k_1} m_2^{k_2} \Gamma(k_1) \Gamma(k_2)} \exp\left[-\left(\frac{x}{m_1} + \frac{y}{m_2}\right)\right] \quad (8)$$

où

$$M_2 = \frac{\rho^2}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left[ \Phi^{-1}[F(x)] \right]^2 - \frac{2}{\rho} \Phi^{-1}[F(x)] \Phi^{-1}[F(y)] + \left[ \Phi^{-1}[F(y)] \right]^2 \right\} \quad (9)$$

et la fonction de distribution conjointe est :

$$F(x, y) = P(X \leq x, Y \leq y) = \int_0^x \int_0^y f(r, s) dr ds \quad (10)$$

Ce développement mathématique est dû à Moran (1969). Les paramètres  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $m_1$  et  $m_2$  peuvent être estimés par la méthode des moments ou celle du maximum de vraisemblance.

La probabilité de dépassement est donnée par l'expression :

$$Q(x, y) = P(X \geq x, Y \geq y) = 1 - F(x) - F(y) + F(x, y)$$

Finalement, la fonction de densité de probabilité de la somme des deux variables gamma est :

$$f(x) = \int_0^x f(x, z-x) dx \quad \text{et } F(z) = \int_0^z f(t) dt \quad (11)$$

$$\text{avec } z = z + y \quad (12)$$

et  $f(x, z-x)$  représente la fonction gamma à deux variables définie en (8) lorsqu'on remplace y par z-x.

### Application au fleuve Saint-Laurent

Poulin (1977), dans son étude sur l'hydrologie de la région de Montréal, a simulé la fonction de distribution du débit du fleuve Saint-Laurent en aval de l'embouchure de la rivière des Outaouais. Les données de base proviennent de la série chronologique du débit de cette dernière ainsi que la série du débit du Saint-Laurent en amont de la confluence (fig. 1). Étant donné que les deux séries du débit ont des composantes saisonnières assez significatives, l'analyse statistique a été faite avec les résidus résultant de la standardisation des séries (déplacements par rapport à la moyenne et changement d'échelle par rapport à l'écart-type).

L'étude a été réalisée avec des échantillons homogènes de 17 années et la variable considérée est le débit moyen mensuel. Les paramètres estimés sont :

$$m_1 = 0,3412; m_2 = 0,2950$$

$$k_1 = 8,59005; k_2 = 11,5081$$

(l'indice 1 correspond au Saint-Laurent et l'indice 2 à la rivière des Outaouais).

Les fonctions de distribution estimées sont :

a) pour le Saint-Laurent :

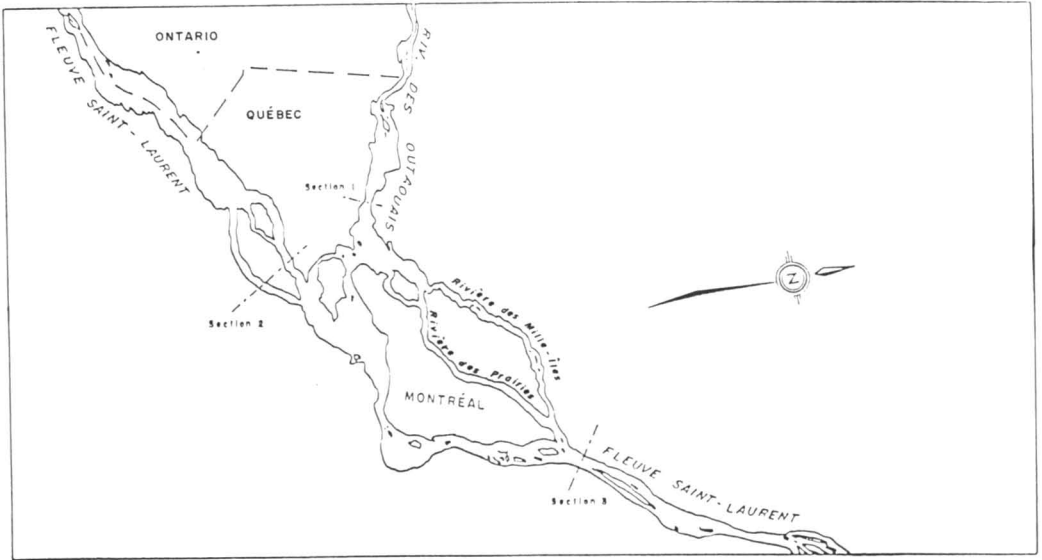


Figure 1. Localisation des sections : fleuve Saint-Laurent et rivière des Outaouais.

$$F_s(x) = 0,6064 \int_0^x t^{7,59005} e^{-2,93083t} dt \quad (13)$$

b) pour la rivière des Outaouais :

$$F_o(y) = 0,10408 \int_0^y t^{10,5081} e^{-3,38983t} dt \quad (14)$$

Le coefficient de corrélation est  $\rho = 0,383$ .

Finalement la fonction de densité des résidus du Saint-Laurent en aval de la confluence est donnée par la formule :

$$F(z) = \int_0^z \int_0^\infty M.N dx dt \text{ où}$$

$$M = 1,08255 \exp [-0,08595 (A^2 + B^2) + 0,03908AB]$$

$$A = \Phi^{-1} [F_s(x)]; B = \Phi^{-1} [F_o(t-x)] \quad (15)$$

$$N = 0,06311 x^{7,59005} (t-x)^{10,5081} \exp P$$

$$P = -2,93083 x + 3,38983(t-x)$$

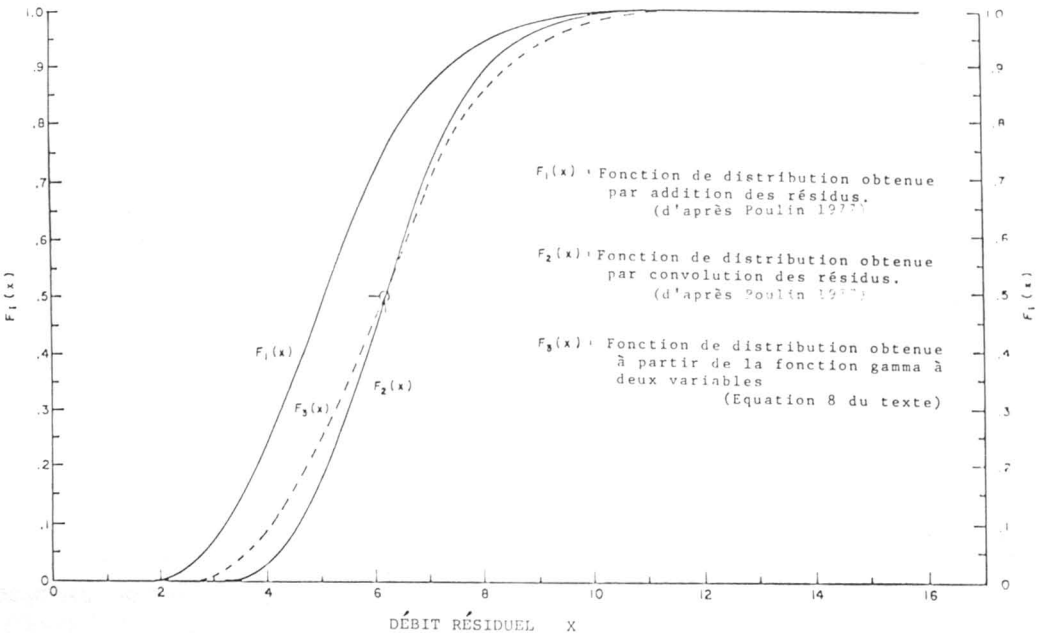


Figure 2. Fonction de distribution d'après différentes hypothèses.



Le graphique de cette fonction est présenté dans la figure 2. Dans la même figure ont été tracées également les fonctions de distribution du fleuve Saint-Laurent en aval dans les hypothèses limites d'indépendance ( $\rho = 0$ ) et de dépendance parfaite ( $\rho = 1$ ) telles que déterminées par Poulin.

### Conclusion

La facilité opérationnelle disponible aujourd'hui permet d'aborder des problèmes qui, il y a seulement quelques années, auraient exigé des efforts nettement insurmontables. D'autre part, les progrès de la technologie fournissent au technicien en ressources hydriques des possibilités très intéressantes quant à la recherche de précision et d'économie dans ses travaux de conception et d'analyse.

La présente recherche est un cas où nous avons tenté de mettre en application des techniques relativement nouvelles pour la solution de problèmes classiques. Les résultats, dont la figure 2 est une synthèse, montrent que la véritable fonction de distribution du débit d'une rivière peut être simulée d'après les conditions amont avec des hypothèses réalistes fixées par la nature même du phénomène et non par des contraintes opérationnelles ou techniques.

On pourrait soulever l'objection que la proximité des courbes de distribution, et particulièrement dans la zone des grandes valeurs, peut ne pas justifier l'emploi de techniques quelque peu sophistiquées. Il est à souligner cependant que la régularité hydrologique du fleuve Saint-Laurent et

de la rivière des Outaouais rendent très étroite la marge de manœuvre pour les événements aléatoires et, dans ces conditions, il est inutile de s'attendre à des écarts considérables. Mais, d'autre part, l'ordre de grandeur du débit amplifie l'intérêt d'une plus grande précision dans le résultat final.

### Remerciements

Cette recherche a été réalisée grâce à l'appui financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (Subvention CRN-A-B-540) dont M. José Llamas est le responsable.

### Références

- LLAMAS, J. & J.P. TRIBOULET, 1977. Débits extrêmes des cours d'eau du bassin moyen du Saint-Laurent. — Les Cahiers de Centreau, vol. II, n° 2, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, Québec, 47 p.
- LLAMAS, J. & R. POULIN, 1977. Simulation des débits de crue à Montréal. — Les Cahiers de Centreau, vol. II, n° 6, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, Québec, 51 p.
- MARKOVIC, R.D., 1965. Probability functions of best fit to distributions of annual precipitation and runoff. — Hydrology Pap., no. 8, August 1965. Colorado St. Univ., Fort Collins, Colorado, 33 p.
- MORAN, P.A.P., 1969. Statistical inference with bivariate gamma distributions. — Biometrika, 56 : 627-634.
- POULIN, R., 1977. Simulation de débits extrêmes dans un système hydrographique complexe. — Th. maîtrise, Département de génie civil, Univ. Laval, Québec, 130 p.



## REPRODUCTIVE CYCLE OF THE MOTTLED RED CHITON (*TONICELLA MARMOREA*) IN THE ST. LAWRENCE ESTUARY, QUÉBEC

P. JALBERT<sup>1</sup>, D. LARRIVÉE

Département des sciences pures,  
Université du Québec à Chicoutimi,  
Chicoutimi, Québec G7H 2B1

and

J. H. HIMMELMAN

Département de biologie and GIROQ (Groupe  
interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec)  
Université Laval, Québec G1K 7P4

### Résumé

Nous avons étudié le cycle reproducteur annuel du chiton rouge marbré (*Tonicella marmorea*) dans l'estuaire du Saint-Laurent (Québec). La croissance des gonades débute au milieu de l'hiver et atteint un maximum à la mi-mai. Des observations comparatives sur l'oursin vert (*Strongylocentrotus droebachiensis*) provenant du même site montrent que la croissance des gonades débute l'été précédent et se continue durant l'automne et l'hiver. Cette différence dans la croissance des gonades chez les deux espèces indique que le contrôle temporel est lié à des facteurs différents du milieu. Chez les deux espèces, la ponte a lieu en juin. La floraison phytoplanctonique du printemps est le signal de la ponte chez *S. droebachiensis* et la coïncidence temporelle de la ponte chez les deux espèces suggère que le phytoplancton sert aussi de signal de ponte chez *T. marmorea*. Dans l'Estuaire, le développement de la couche superficielle de mélange et la floraison phytoplanctonique retardée, en comparaison avec la situation qui se présente en région océanique, expliqueraient la ponte tardive de ces espèces.

### Abstract

The annual reproductive cycle of the mottled red chiton (*Tonicella marmorea*) was studied in the St. Lawrence Estuary, Québec. Gonadal growth begins in mid-winter and reaches a peak in mid-May. Comparative observations on the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) from the same location, show that gonadal growth begins in the previous summer, and continues through the autumn and winter. This difference indicates that different environmental factors probably control the timing of gonadal growth in the two species. In both species, spawning occurs in June. The spring phytoplankton bloom is the spawning cue for *S. droebachiensis* and the synchronous spawning of *T. marmorea* and *S. droebachiensis* suggest that phytoplankton is also the spawning cue for *T. marmorea*. The delayed development of a shallow mixed surface layer and spring phytoplankton bloom in the Estuary, compared to more oceanic regions, would account for the late spawnings in the Estuary.

### Introduction

The mottled red chiton (*Tonicella marmorea* Fabricius 1780) is circumpolar around the Arctic Ocean and extends southward

along the northeast coast of North America to Massachusetts (Pilsbry, 1892). It and *Tonicella rubra* Linnaeus 1767, *Ischnochiton albus* Linnaeus 1767, and *Amicula vestita* Broderip & Sowerby 1829 are the common subtidal chitons on the Atlantic coast of Canada. In the St. Lawrence Estuary, Québec,

<sup>1</sup> Adresse actuelle: GIROQ, Université Laval, Québec G1K 7P4.

*T. marmorea* is the most conspicuous chiton species. It is common on open surfaces of smooth coralline algae, *Clathromorphum* spp., and at depths between 2 and 8 m below the lowest water of spring tides (LWST) it can attain a density of 180 individuals  $\cdot$  m<sup>2</sup> (Himmelman, unpublished data). While there are numerous papers on the reproduction of chitons in other regions, particularly for species on the west coast of North America (Hyman, 1967; Giese, 1969; Richter, 1976; Himmelman, 1981), there is no published information on the reproduction of the above northeast Atlantic species.

In the present paper, we describe the reproductive cycle of *Tonicella marmorea*, and, using concurrent observations, compare it to the cycle of the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis* O.F. Müller 1776).

### Methods

On 9 dates between February 1979 and February 1980, samples of 19-30 *Tonicella marmorea* were taken from between 4 and 10 m depth below LWST from the rocky shore at Anse-aux-Basques (48°19'05"N; 69°24'53"W), 3.5 km southwest of Les Escoumins on the north shore of the St. Lawrence Estuary. In addition, as part of another study (Himmelman *et al.*, in press), periodic samples of the urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, were taken from the same subtidal community during 1978 and 1979. Both species were collected on the same dates during February through June 1979. The collections of both chitons and urchins were preserved in 10% formalin in sea water and were later dissected in the laboratory to determine the percentage gonadal weight of the preserved animals. All weight measurements were recorded to the nearest 0.01 g. The total body weight was taken after allowing the animal to drain on paper towelling for 10-15 minutes, and the gonadal weight was determined after briefly blotting surface moisture from the gonads.

For each sample, the mean and 95% confidence limits were calculated from the arcsine-transformed percentage gonadal weight values. These statistics were then transformed back to percentage values for plotting the gonadal index against time. Himmelman *et al.* (in press) show that for *S. droebachiensis* the mean gonadal index is similar for determinations using live and preserved animals. When the mean gonadal size at different dates was compared statisti-

cally, the arcsine-transformed percentage gonadal weights were always used.

### Results

Following the time of the first collection of *Tonicella marmorea* in mid-February 1979, when the gonadal index was 4.8 there was a sharp increase in gonadal size to a peak index of 9.5 in mid-May (Fig. 1). By 8 June, there was a slight decrease in the mean gonadal index and increase in the variance of the index. This suggested that spawning had begun. By 17 July 1980, the gonads were in spent condition and there had been a marked drop in the gonadal index to near the annual minimum. Thus, spawning was completed. The variations in gonadal size between July 1979 and February 1980 were not significant (analysis of variance,  $P < 0.01$ ).

In contrast to *T. marmorea*, for *Strongylocentrotus droebachiensis* the major increase in gonadal size, following the post spawning minimum of 4.4 in June 1978, occurred prior to mid-February 1979 (Fig. 1). The peak gonadal index of 12.2 was attained in mid-May 1979, as for *T. marmorea*. There had been gamete release by *S. droebachiensis* by 8 June 1979, as indicated by the large drop in the gonadal index. However spawning was not completed by this date, since there was an additional significant decrease (analysis of variance,  $P < 0.01$ ) in the mean gonadal index by mid-July. Thus, spawning was occurring in early June for *S. droebachiensis*. For both *T. marmorea* and *S. droebachiensis*, the duration of spawning in June is not known, since samples were not collected until 17 July.

In summary, as is characteristic of many marine invertebrates in temperate and polar seas (Giese & Pearse, 1974), the chiton, *Tonicella marmorea*, and the urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, have distinct annual cycles in gonadal size related to the annual production of gametes and spawning. For *S. droebachiensis*, the major portion of gonadal growth occurs during the autumn and early winter, while for *T. marmorea*, it begins in mid-winter. Both species attain peak gonadal size at the same time, in mid-May, and spawn at about the same time in the spring.

### Discussion

The reproductive cycles of two other *Tonicella* species, *T. lineata* and *T. insignis* on

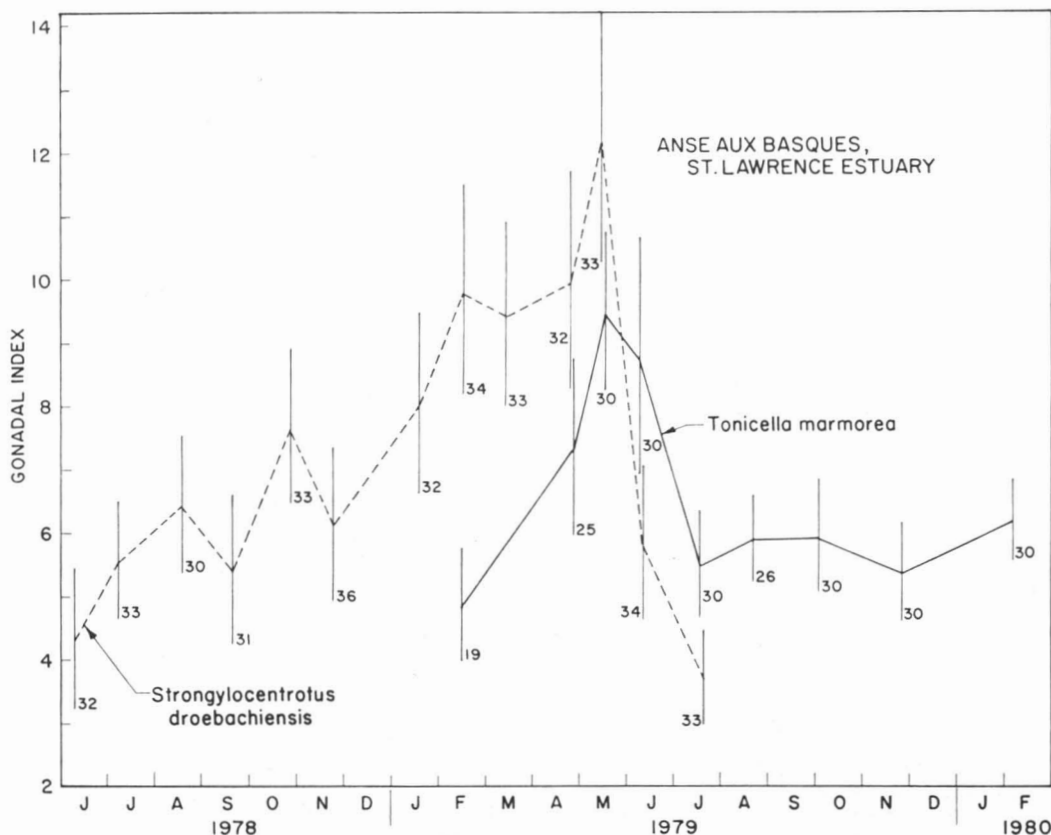


Figure 1. Mean gonadal index and 95% confidence limits for samples of *Tonicella marmorea* and *Strongylocentrotus droebachiensis* collected at Anse-aux-Basques, St. Lawrence Estuary. Numbers are sample sizes.

the west coast of North America, have previously been described (Barnes, 1972; Himmelman, 1979). For both species gonadal growth begins in the summer, there is a sharp increase in gonadal size during the autumn, and gonadal growth continues to a peak prior to spawning in the spring. This pattern of gonadal growth resembles that of the urchin, *S. droebachiensis*, at Anse-aux-Basques in the present study, and in other locations previously reported (Himmelman, 1978). The above authors discuss how environmental factors, such as seasonal changes in temperature, photoperiod and food availability, may act to determine the period of gonadal growth, but the various hypotheses have not been tested experimentally. In the case of *T. marmorea*, where gonadal growth begins in mid-winter, different factors probably control the timing of gonadal growth. Widespread factors coincid-

ing with the beginning of gonadal growth are the annual temperature minimum (0 to  $-2^{\circ}\text{C}$ ), and the new period of increasing daylength. In the field, we noted that there was an increased abundance of benthic diatoms during February, March and April. This could be an important food source for gonadal growth. Also, the presence of such a food source could directly determine the period of gonadal development, as shown for several other marine invertebrates (Holland, 1964; Barnes & Barnes, 1967; Sastry, 1975).

At Anse-aux-Basques in 1979, *T. marmorea* and *S. droebachiensis* both spawned in June. Studies in British Columbia show that the spring phytoplankton outburst is the cue for spawning in *S. droebachiensis*, *Tonicella lineata* and *Tonicella insignis* (Himmelman, 1975, 1978, 1979). Spawning was closely cor-

related with the timing of the spring phytoplankton increase in the field, and natural phytoplankton stimulated spawning in the laboratory. The possible benefits of using phytoplankton as a cue for spawning, both for species with lecithotrophic larvae, such as *Tonicella* spp., and for species with planktotrophic larvae, such as *S. droebachiensis*, are discussed in detail by Himmelman (1981). The simultaneous spawning of *T. marmorea* and *S. droebachiensis* at Anse-aux-Basques suggests that phytoplankton may also be the spawning stimulus for *T. marmorea*.

The abundance of phytoplankton in the St. Lawrence Estuary has been studied primarily during the summer, starting in June, and there are very few data for March, April and May (Spence & Steven, 1974; Steven, 1974; Sinclair *et al.*, 1976; Sinclair, 1978; Therriault & Lacroix, 1975; Côté & Lacroix, 1979; J.-C. Therriault, pers. comm.). Winter conditions in the Estuary continue well into April and the vernal development of a shallow surface layer within the euphotic zone, a prerequisite for the phytoplankton bloom, is delayed in comparison to more oceanic environments. Short-lived increases in phytoplankton have been observed when measurements began in early June, but a large and widespread phytoplankton increase does not take place before late June. Observations in a number of locations during two years show that the spawning time of *S. droebachiensis* in the Estuary is very late (May-June, Himmelman *et al.*, in press) compared to that reported for Newfoundland, Nova Scotia and the New England states in the northeastern Atlantic, and for locations on the coasts of Norway and British Columbia (Himmelman, 1978). This is probably a result of the late phytoplankton blooming period in the Estuary compared to these other locations. Thus, while we have no observations on the abundance of phytoplankton at Anse-aux-Basques during 1979, the available data for the Estuary suggest that during June, when *T. marmorea* and *S. droebachiensis* spawned, periodic bursts in phytoplankton abundance were occurring.

The slightly delayed decline in the mean gonadal index of *T. marmorea*, compared to *S. droebachiensis*, as indicated by the data for 8 June 1979 at Anse-aux-Basques, suggests that *T. marmorea* has a somewhat slower response to the spawning signal. A similar delay was seen for *T. lineata*, compared to *S. droebachiensis* and

*T. insignis*, in British Columbia (Himmelman, 1981).

Thus, the June spawning of *T. marmorea* and *S. droebachiensis* in the St. Lawrence Estuary appears to coincide with the period when phytoplankton first becomes abundant. In the case of *S. droebachiensis* and a number of other invertebrates, it has been demonstrated experimentally that the vernal phytoplankton increase is the spawning signal (Breese & Robinson, 1981; Himmelman, 1981). Similar experiments should be performed on *T. marmorea* to verify whether its spawning is also coordinated by phytoplankton blooms.

### Acknowledgments

The field trips to Anse-aux-Basques were supported by the *Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec* (GIROQ) and the *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec* (MAPAQ). We greatly appreciate the aid of Yves Lavergne, Guy Martel and Christophe Gros in diving to collect the samples.

### References

- BARNES, H. & M. BARNES, 1967. The effect of starvation and feeding on the time of production of egg masses in the boreo-arctic cirripede *Balanus balanoides* (L.). — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 1: 1-6.
- BARNES, J.R., 1972. Ecology and reproductive biology of *Tonicella lineata* (Wood, 1815) (Mollusca-Polyplacophora). — Ph.D. thesis, Oregon State University, Corvallis, 149 p.
- BREESE, W.P. & A. ROBINSON, 1981. Razor clams, *Siliqua patula* (Dixon): gonadal development, induced spawning and larval rearing. — *Aquaculture*, 22: 27-33.
- CÔTÉ, R. & G. LACROIX, 1979. Influence de débits élevés et variables d'eau douce sur le régime saisonnier de production primaire d'un fjord subarctique. — *Oceanologica Acta*, 2: 299-306.
- GIESE, A.C., 1969. A new approach to the biochemical composition of the mollusc body. — *Oceanogr. mar. Biol. ann. Rev.*, 7: 175-229.
- GIESE, A.C. & J.S. PEARSE, 1974. Introduction: general principles. — Pages 1-49 in A.C. Giese & J.S. Pearse (eds.), *Reproduction of marine invertebrates*. Vol. 1. Academic Press, New York, 546 p.
- HIMMELMAN, J.H., 1975. Phytoplankton as a stimulus for spawning in three marine invertebrates. — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 20: 199-214.

- HIMMELMAN, J.H., 1978. Reproductive cycle of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. — *Can. J. Zool.*, 56: 1828-1836.
- HIMMELMAN, J.H., 1979. Factors regulating the reproductive cycles of two northeast Pacific chitons, *Tonicella lineata* and *T. insignis*. — *Mar. Biol.*, 50: 215-225.
- HIMMELMAN, J.H., 1981. Synchronization of spawning in marine invertebrates by phytoplankton. — Pages 3-19 in W.H. Clark & T.S. Adams (eds.), *Advances in invertebrate reproduction*. Elsevier North Holland, Inc., New York, 400 p.
- HIMMELMAN, J.H., Y. LAVERGNE & F. AXELSEN (in press). Variation saisonnière de la taille et de la composition chimique des gonades de l'Oursin vert, *Strongylocentrotus droebachiensis*, dans le golfe et l'estuaire du fleuve Saint-Laurent. — *Cah. Inf. Dir. gén. Pêches marit. Min. Agr. Pêches Aliment. Québec*.
- HOLLAND, N.D., 1964. Cell proliferation in post-embryonic specimens of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*): an autoradiographic investigation employing tritiated thymidine. — Ph.D. thesis, Stanford University, 224 p.
- HYMAN, L.H., 1967. *The invertebrates*. Vol. 6: Mollusca I. — McGraw-Hill Book Company, New York, 792 p.
- PILSBRY, H.A., 1892. Monograph of the Polyplacophora (Lepidopleuridae, Ischnochitonidae, Chitonidae, Mopaliidae). — *Manual of Conchology*, Vol. 14, Philadelphia, 350 p., 68 pls.
- RICHTER, H.-P., 1976. Feinstrukturelle Untersuchungen zur Oogenese der Käferschnecke *Lepidochitona cinereus* (Mollusca, Polyplacophora). — *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 28: 250-303.
- SASTRY, A.N., 1975. Physiology and ecology of reproduction in marine invertebrates. — Pages 279-299 in F.J. Vernberg (ed.), *The Belle W. Baruch Library in Marine Science*, No. 3, Physiological ecology of estuarine organisms, University of South Carolina Press, Columbia, 396 p.
- SINCLAIR, M., 1978. Summer phytoplankton variability in the lower St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: 1171-1185.
- SINCLAIR, M., M. EL-SABH & J.-R. BRINDLE 1976. Seaward nutrient transport in the lower St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 1271-1277.
- SPENCE, C. & D.M. STEVEN. 1974. Seasonal variation of the chlorophyll *a*: pheopigment ratio in the Gulf of St. Lawrence — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 1263-1268.
- STEVEN, D.M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — *McGill Univ. Mar. Sci. Cent. MS Rep.*, no. 26: 1-116.
- THERRIAULT, J.-C. & G. LACROIX, 1975. Penetration of the deep layer of the Saguenay Fjord by surface waters of the St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 32: 2373-2377.





## LES FACTEURS INDICATIFS DE LA DIVERSITÉ DES PEUPELEMENTS D'OISEAUX FORESTIERS DU SUD DU QUÉBEC

G. MÉNARD<sup>1</sup>, R. McNEIL

*Centre de recherches écologiques de Montréal, Université de  
Montréal, C.P. 6128, Succ. A, Montréal, Québec H3C 3J7*

et

A. BOUCHARD

*Département de sciences biologiques, Université de Montréal  
et Jardin botanique de Montréal, 4101 est, rue Sherbrooke,  
Montréal, Québec H1X 2B2*

### Résumé

La présente étude analyse l'influence des différents paramètres structuraux de la végétation, de la diversité des espèces végétales et de l'humidité du sol sur la diversité avienne des milieux forestiers du sud-ouest du Québec. Vingt sites situés dans la région de Montréal, à Mirabel et dans les Cantons de l'Est ont été échantillonnés, tant du point de vue de l'avifaune que de la végétation, au printemps et à l'été de 1978.

La diversité avienne est en corrélation positive, mais non significative, avec le nombre de strates, avec l'indice du recouvrement de la végétation et avec la diversité de la stratification. Il y a toutefois une corrélation hautement significative ( $P < 0,01$ ) entre la diversité avienne et le nombre d'espèces arbustives et arborescentes ainsi que l'humidité apparente du sol. La diversité avienne diminue d'un milieu mixte à un milieu coniférien lorsque l'on considère le pourcentage de recouvrement des conifères ( $P < 0,01$ ) et aussi le pourcentage d'arbres conifériens ( $P < 0,05$ ); la corrélation n'est toutefois pas significative entre la diversité avienne et le pourcentage d'arbustes conifériens.

Pour prédire la diversité avienne lors d'études d'impacts ou de zonages écologiques en milieu forestier, on pourra avoir recours au pourcentage de recouvrement des conifères (pour les milieux ayant un recouvrement en conifères supérieur ou égal à 40%), à l'humidité apparente du sol et surtout au nombre d'espèces végétales des strates arbustives et arborescentes. Ce dernier paramètre est de loin le meilleur car il peut être mesuré de façon objective.

### Abstract

The present study attempts to analyse the influence of different vegetation structural parameters, of plant species diversity and of soil moisture on the avifaunal diversity of forest habitats in southwestern Québec. Twenty sites situated in the regions of Montréal, Mirabel and the Eastern Townships were sampled for their vegetation and avifauna during the spring and summer of 1978.

Birds species diversity is in positive but not significant correlation with the number of strata, vegetation cover index and foliage height diversity. However, there is a highly significant correlation ( $P < 0.01$ ) between bird species diversity and the number of shrub and tree species, and also soil moisture. Bird species diversity decreases from mixed forests to coniferous habitats when cover ( $P < 0.01$ ) and percentage ( $P < 0.05$ ) of coniferous trees is considered. The negative correlation

---

<sup>1</sup> Adresse actuelle : Department of biology, Queen's University, Kingston, Ontario K7L 3N6.

of birds species diversity to the percentage of conifer shrubs is not however significant.

In order to predict bird species diversity for impact studies or ecological zoning in forest habitat, one could extrapolate from the percent coverage of conifers (in those habitats having a conifer cover greater than or equal to 40%), from the apparent soil moisture or from the number of plant species in the shrub and tree layers. The last parameter is by far the best because of its reliability and objectivity.

## Introduction

Lors de zonages écologiques et d'études biophysiques du territoire en vue de déterminer les impacts écologiques de diverses interventions humaines, on a tendance à négliger les oiseaux forestiers, faute de temps et de moyens. On pourrait cependant se servir des interrelations existant entre les oiseaux et leur milieu pour pouvoir prédire la diversité avienne à partir de paramètres du milieu.

Ces interrelations ont été analysées par de nombreux auteurs (MacArthur & MacArthur, 1961; MacArthur *et al.*, 1962; MacArthur, 1964; Recher, 1969, 1971; Karr, 1968; Karr & Roth, 1971; Willson, 1974; Røv, 1975; Roth, 1976; DesGranges, 1980; Wiens & Rotenberry, 1981; etc.). Cependant, deux facteurs du milieu, l'humidité du sol et le pourcentage de conifères, n'ont pas été considérés jusqu'à présent dans les analyses. La présente étude a pour objectifs d'abord d'éprouver l'influence des paramètres déjà étudiés sur les communautés de passe-reaux nicheurs du sud-ouest du Québec, ensuite de démontrer la relation existant entre l'humidité du sol et le pourcentage de conifères d'une part, et la diversité avienne d'autre part, et enfin, de déterminer quels facteurs aisément mesurables sur le terrain pourraient, dans le cadre d'inventaires biophysiques, être les meilleurs indicateurs de

la diversité des communautés aviennes des milieux forestiers.

## Description de la région étudiée

Situé dans le sud-ouest du Québec, le territoire étudié (fig. 1) chevauche les terres basses du Saint-Laurent (Rigaud, Saint-Lazare et Mirabel) et les contreforts des Appalaches (Cowansville, mont Orford, mont Mégantic). La végétation de ce territoire varie de l'érablière à caryer sur les basses-terres du Saint-Laurent à la sapinière à oxalide des montagnes dans les contreforts des Appalaches. La température moyenne de janvier, mois le plus froid de l'année, varie entre  $-10^{\circ}$  et  $-19^{\circ}\text{C}$ , tandis que celle de juillet, mois le plus chaud, est comprise entre  $16^{\circ}$  et  $21^{\circ}\text{C}$ . La précipitation annuelle est partout de l'ordre de 1 000 mm et il neige abondamment de novembre à avril. Ces données sur le climat sont tirées de Grandtner (1966).

## Méthodes

### DÉNOMBREMENT DES OISEAUX

La méthode que nous avons mise au point est une modification de celle des « plans quadrillés » décrite par Blondel (1969) ainsi que Svensson (1970) et utilisée par de nombreux

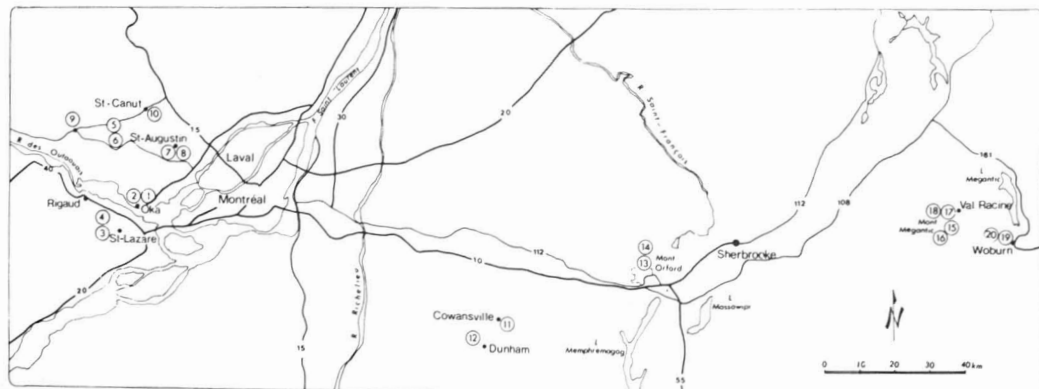


Figure 1. Localisation des sites étudiés.

auteurs (Kendeigh, 1944; Enemar, 1959; Ferry, 1964; Ferry & Frochot, 1968; Blondel, 1965; Karr & Roth, 1971; Cyr, 1974, etc.). Le changement majeur que nous lui avons apporté réside en un arrêt de cinq minutes à tous les 100 mètres. La méthode des « plans quadrillés » demande une marche constante à vitesse réduite le long des sentiers, l'observateur ne s'arrêtant que pour noter un contact ou mieux situer un oiseau. Il peut donc résulter une certaine variation dans l'application de la méthode d'un dénombrement à l'autre (arrêts plus ou moins longs, plus ou moins fréquents). La méthode mise au point pour la présente étude standardise ces arrêts. Elle minimise les variations qui peuvent exister entre deux dénombrements exécutés par un observateur ou même par deux observateurs. De plus, ces arrêts de cinq minutes servent un autre but : permettre aux espèces plus farouches de se manifester. En effet, on a souvent remarqué que certains individus se mettaient à chanter lors de la quatrième ou cinquième minute d'arrêt, donc lorsque tout était redevenu calme. Certaines espèces se taisent à l'approche de l'homme (principalement celles qui nichent et chantent près du sol), alors que nous avons observé que d'autres, comme la fauvette du Canada (*Wilsonia canadensis*), se mettent à chanter et suivent même l'observateur jusqu'à une certaine limite. La méthode décrite ici, avec ces marches et ces arrêts, rejoint ainsi tous les types d'oiseaux.

Un plan représentant chaque site a été dressé et photocopié en plusieurs exemplaires. Muni d'un plan, l'observateur marche d'un pas assez rapide le long du périmètre balisé et s'arrête cinq minutes à tous les cent mètres et au centre de la parcelle. L'observateur peut commencer le dénombrement à n'importe quel point de la parcelle. Il s'agit qu'il complète le circuit et s'arrête cinq minutes à chaque station d'écoute. Lors des arrêts, il note sur un plan différent à chaque dénombrement toutes les manifestations aviennes, autant celles perçues à l'arrêt qu'en marche. Chaque fois qu'il voit ou entend un oiseau, l'observateur repère le plus précisément possible sa position par rapport au plan, l'y indique par des abréviations déterminées et ajoute de plus le chiffre de la station d'où l'information a été obtenue (pour plus de détails, voir Ménard, 1979).

La grandeur des sites à échantillonner doit être arrêtée avec circonspection. Svens-

son (1970) recommande une surface minimum de 10 à 30 hectares dans un habitat fermé. Kendeigh (1944) souligne que les parcelles doivent être assez grandes pour inclure les activités de toutes les espèces présentes, à l'exception peut-être des grands prédateurs, et suggère une surface de 50 acres (environ 20,2 ha). Toutefois, de nombreux auteurs ont travaillé avec des surfaces plus petites : Cyr (1974), Røn (1975), Crivelli & Blandin (1977), Kricher (1972, 1973), MacArthur & MacArthur (1961) ont étudié des sites variant de 2 à 9 ha. Ces derniers ont remarqué que les dénombrements doivent couvrir approximativement la même surface de façon à ce que les variations de la diversité avienne reflètent des différences dans la composition de l'habitat plutôt que dans la taille de la surface échantillonnée.

L'utilisation des terres dans les régions étudiées a été telle que peu de forêts homogènes de grande surface peuvent y être trouvées ; c'est pourquoi un carré de 200 m de côté a été jugé comme étant la plus grande superficie applicable à tous les sites retenus. Quatre hectares représentent une surface assez grande pour qu'une étude de la diversité des passereaux forestiers soit valable : même les territoires les plus grands, comme celui de 1,45 ha du moucherolle huppé (*Myiarchus crinitus*), et celui de 2,26 ha du gros-bec à poitrine rose (*Pheucticus ludovicianus*) (valeurs tirées de Cyr, 1974) y sont englobés. Les pics, les gélinottes et les rapaces ont été notés lorsqu'ils se sont manifestés, mais n'ont pas été comptés lors du calcul des indices de diversité.

Il semble que cinq dénombrements permettent de se faire une idée assez juste d'une population d'oiseaux forestiers nicheurs. En effet, Enemar (1959), après avoir comparé les rendements obtenus dans différents habitats, a estimé que plus de la moitié, mais rarement plus des deux-tiers, des mâles chanteurs stationnaires sont enregistrés à chaque visite. Ceci implique qu'après une quatrième visite, on doit escompter avoir 94% des mâles chanteurs. Il est donc suffisant, dans de bonnes conditions météorologiques, d'effectuer de cinq à six visites pendant les semaines qui correspondent à une défense territoriale intensive pour dénombrer de façon satisfaisante une population nicheuse. Une étude de la territorialité en tant que telle, qui aurait demandé évidemment beaucoup plus de visites, n'était pas requise compte tenu des objectifs re-

cherchés dans la présente étude. Dix sites ont été visités six fois; il s'agit des sites 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 19 (voir le tableau I pour l'identification des milieux). Dix autres sites ont été visités six fois; lorsqu'à la cinquième visite l'observateur notait une nouvelle espèce, le site était visité une sixième fois, sinon, l'échantillonnage était considéré comme étant complet.

Les dénombrements des populations d'oiseaux ont été réalisés du 29 mai au 7 juillet 1978. Les oiseaux entendus chantant uniquement entre le 29 mai et le 7 juin ont été éliminés à cause des migrations toujours possibles durant cette période. Lorsqu'un oiseau a émis un chant avant le 7 juin et un cri ou un chant après cette date, il a été compté pour un oiseau nicheur. Il en est de même pour les individus entendus chantant une fois pendant le reste du temps (du 8 juin au 7 juillet). Toutefois, ceux entendus uniquement après le 29 juin ont été inclus parmi les nicheurs tardifs et non parmi les premiers nicheurs. Enfin, les oiseaux entendus chantant à la limite de la parcelle ont été inclus seulement s'il y a eu deux contacts à l'intérieur. Ce test de validité a été établi de façon arbitraire de façon à standardiser le plus possible les critères d'acceptation et de rejet des oiseaux nicheurs.

Tous les points représentant chaque individu de chaque espèce ont été décalqués sur une nouvelle carte; les groupements de

points correspondant à des territoires ont ensuite été encerclés grossièrement pour déterminer le nombre réel d'individus présents dans le quadrat.

#### ECHANTILLONNAGE DES COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES

À l'aide de photographies aériennes au 1:15 840 et de cartes forestières, il a été possible de localiser vingt sites qui réunissaient les caractéristiques recherchées (fig. 1). Plusieurs de ces sites avaient d'ailleurs été utilisés pour des études de communautés forestières (Bouchard & Maycock, 1978; Marcotte & Grandtner, 1974; Dansereau *et al.*, 1975). Ils ont été choisis en fonction principalement du pourcentage de recouvrement des conifères par rapport aux décidus et de la composition floristique. Ainsi, un grand nombre des types de communautés forestières du territoire étudié sont représentés dans l'échantillonnage. Les espèces dominantes de chaque site sont énumérées au tableau I et la description floristique détaillée apparaît dans Ménard (1979).

L'échantillonnage de la végétation a été effectué de la fin de juin à la mi-août de 1978 sur une surface de 15 m par 30 m (0,45 ha) au centre de la parcelle de 200 m par 200 m. Les données suivantes ont été prises: 1) la stratification présente: la stratification « découpe la végétation par des plans parallèles au sol qui y délimitent des strates » (Godron *et al.*, 1968). L'échelle utilisée pour exprimer

TABLEAU I  
Espèces arborescentes dominantes des vingt sites étudiés

Site	Localité	Espèces dominantes
1	Oka	<i>Acer saccharinum</i> — <i>Fraxinus nigra</i>
2	Oka	<i>Pinus strobus</i> — <i>Quercus alba</i>
3	Saint-Lazare	<i>Fagus grandifolia</i> — <i>Fraxinus americana</i>
4	Rigaud	<i>Acer saccharum</i> — <i>Fagus grandifolia</i>
5	Lachute	<i>Pinus sylvestris</i> — <i>Picea abies</i>
6	Lachute	<i>Abies balsamea</i> — <i>Acer rubrum</i>
7	Saint-Augustin	<i>Tsuga canadensis</i> — <i>Acer rubrum</i>
8	Saint-Augustin	<i>Tsuga canadensis</i> — <i>Betula alleghaniensis</i>
9	Lachute	<i>Tsuga canadensis</i> — <i>Acer saccharum</i>
10	Saint-Canut	<i>Tsuga canadensis</i> — <i>Acer rubrum</i>
11	Cowansville	<i>Abies balsamea</i> — <i>Tsuga canadensis</i>
12	Dunham	<i>Acer rubrum</i> — <i>Fraxinus nigra</i>
13	Mont Orford	<i>Acer saccharum</i> — <i>Fagus grandifolia</i>
14	Mont Orford	<i>Acer saccharum</i> — <i>Tilia americana</i>
15	Mont Mégantic	<i>Abies balsamea</i> — <i>Betula papyrifera</i>
16	Mont Mégantic	<i>Abies balsamea</i> — <i>Betula papyrifera</i>
17	Val Racine	<i>Acer saccharum</i> — <i>Betula alleghaniensis</i>
18	Val Racine	<i>Betula papyrifera</i> — <i>Betula populifolia</i>
19	Woburn	<i>Acer saccharum</i> — <i>Betula alleghaniensis</i>
20	Woburn	<i>Abies balsamea</i> — <i>Betula papyrifera</i>

la stratification est modifiée de celle mise au point par le Centre d'études phytosociologiques et écologiques de Montpellier ou C.E.P.E. (Godron *et al.*, 1968). Les classes 1, 2 et 3 ont été fusionnées ainsi que les classes 6 et 7. Enfin, la strate de plus de 32 m n'a pas été utilisée. Ceci diminue le nombre de strates de 10 à 6 : 1 : 0 à 0,5 m, 2 : 0,5 à 1 m, 3 : 1 à 2 m, 4 : 2 à 8 m, 5 : 8 à 16 m, 6 : 16 à 32 m. Ces changements ont été apportés car l'échelle de stratification du C.E.P.E. est trop fine pour les besoins de l'analyse du milieu dans le cas de la faune avienne; de fait, l'utilisation différenciée de strates entre 0 et 0,5 m ne semble pas vérifiée en forêt pour la faune avienne (Cyr, 1975). 2) Le recouvrement de chaque espèce dans chaque strate (pour les deux strates les plus basses, seules les trois dominantes ont été notées) : le recouvrement est le pourcentage de la surface couverte en projection horizontale par les individus (d'une espèce, d'un groupe végétal ou de la totalité des espèces) d'un strate ou de toutes les strates par rapport à la surface totale de l'échantillon. L'échelle de recouvrement mise au point par le C.E.P.E. nous est apparue trop fragmentée pour être utilisée sans erreur. Il nous a semblé plus pratique d'avoir recours à l'échelle de Küchler (1967) dont les classes plus grandes peuvent être estimées sur le terrain avec moins de difficulté : 0 : inexistant, B : < 1%, C : 1 à 5%, D : 6 à 25%, E : 26 à 50%, F : 51 à 75%, G : 76 à 100%, H : > 100%. Lorsque cela s'appliquait, un symbole + ou - était accolé à la lettre de la classe pour donner plus de précision; par exemple, un recouvrement jugé beaucoup plus près de 75% que de 50% était désigné par F+. Lors des calculs d'indices, c'est la valeur médiane de chaque classe qui a été utilisée. 3) Le recouvrement global de chaque strate. 4) Le pourcentage de recouvrement global des conifères par rapport aux décidus. 5) L'abondance numérique de tous les arbres dont le diamètre est supérieur à 9,14 cm, et de tous les arbustes dont le diamètre est compris entre 1,52 et 9,13 cm; ces valeurs sont tirées du «Code pour les relevés d'inventaires écologiques du territoire» mis au point par le «Groupe d'étude sur l'écologie appliquée à l'aménagement du territoire» (1974). 6) L'humidité apparente du sol qui est estimée en procédant «à un examen simultané des caractères de la surface du sol, du profil édaphique, de la végétation et du micro-climat» (Godron *et al.*, 1968); l'humidité du sol a été qualifiée grâce à l'échelle du C.E.P.E. Et enfin, 7) la pente

et l'exposition de l'ensemble de la parcelle ainsi que les perturbations du milieu (chablis, sentiers, etc.).

#### TRAITEMENT DES DONNÉES

La diversité avienne (DA) a été calculée à l'aide de la formule de Shannon & Weaver (1963), modifiée par Lloyd *et al.* (1968) pour permettre un calcul plus facile :

$$H' = \frac{c}{n_i} \{ N \log_{10} N - \sum n_i \log_{10} n_i \}$$

où  $c$  égale 2,302585 en base  $e$ ,  $n_i$  est le nombre de territoires de la  $i$ -ième espèce et  $N$ , le nombre total de territoires de l'ensemble du quadrat. Les résultats des dénombrements des populations d'oiseaux nicheurs ont été compilés d'une part en ne considérant que la première nichée (DA) qui comprend les individus entendus chantant avant le 29 juin, et d'autre part en considérant la nichée totale (DAT) qui comprend tous les individus nicheurs. Les indices de diversité avienne ont été calculés pour ces deux groupes (voir tableau II).

La diversité de la stratification (DS), ou «Foliage Height Diversity» de MacArthur & MacArthur (1961), Recher (1969), Karr (1968), et Røv (1975), a été calculée par la même formule où  $c$  égale 2,302585,  $n_i$  est le recouvrement global de la végétation dans la  $i$ -ième strate et  $N$ , la somme des recouvrements de chaque strate. Les logarithmes naturels ont été utilisés pour tous les calculs d'indices de diversité.

L'indice du recouvrement de la végétation (IRV), qui correspond au «Vegetation Cover Index» de Karr (1968) et au taux de recouvrement de Blondel *et al.* (1973), a été défini ici comme étant la somme des valeurs de recouvrement de chaque strate, en excluant celle de la strate 1.

Le pourcentage de recouvrement des conifères (RC) a été estimé directement sur le terrain de la manière suivante :

$$RC = \frac{\text{recouvrement des conifères}}{\text{recouvrement (conifères + décidus)}} \times 100.$$

Les pourcentages d'arbres (AC) et d'arbustes conifériens (ArC) ont été calculés selon les formules suivantes :

$$AC = \frac{\text{nombre d'arbres conifériens}}{\text{n. d'arbres (décidus + conifériens)}} \times 100.$$

TABLEAU II

Nombre d'espèces et de territoires et indices de diversité avienne dans les vingt stations étudiées

Milieux étudiés	Nombre d'espèces de la première nichée	Nombre de territoires de la première nichée	Nombre d'espèces de la nichée totale	Nombre de territoires de la nichée totale	Diversité avienne de la première nichée	Diversité avienne totale
1	3	3	3	3	1,585	1,585
2	6	10	7	13	2,446	2,565
3	5	11	5	12	1,972	2,055
4	8	15	8	16	2,823	2,811
5	4	6	7	9	1,918	2,725
6	17	33	17	36	3,816	3,801
7	8	12	12	17	2,752	3,337
8	12	21	13	24	3,237	3,324
9	9	17	13	21	2,867	3,404
10	12	17	15	21	3,337	3,630
11	13	15	13	16	3,640	3,625
12	13	18	13	19	3,572	3,511
13	8	20	8	20	2,704	2,704
14	12	30	13	31	3,244	3,345
15	5	9	7	12	2,197	2,626
16	11	21	13	23	3,296	3,523
17	5	17	5	19	2,095	2,149
18	14	25	15	27	3,509	3,584
19	7	21	7	23	2,203	2,099
20	16	35	17	40	3,701	3,775

$$\text{et ArC} = \frac{\text{nombre d'arbustes conifériens}}{\text{n. d'arbustes (décidus + conifériens)}} \times 100.$$

### Résultats et discussion

NOMBRE DE STRATES, INDICE DU RECOUVREMENT DE LA VÉGÉTATION ET DIVERSITÉ DE LA STRATIFICATION

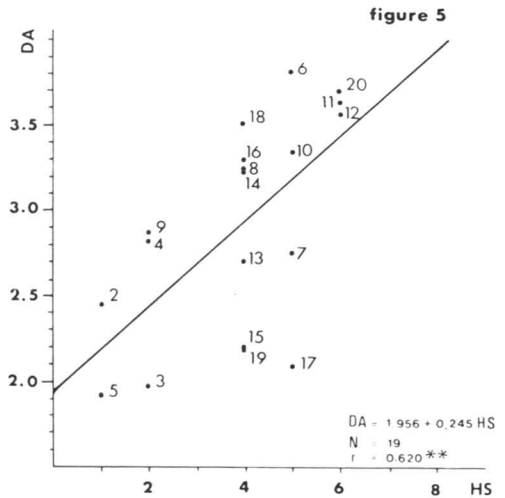
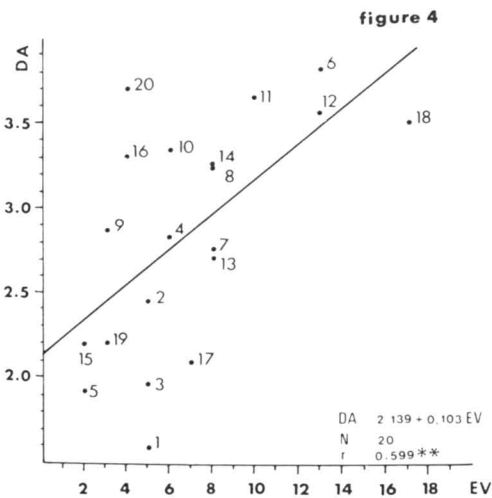
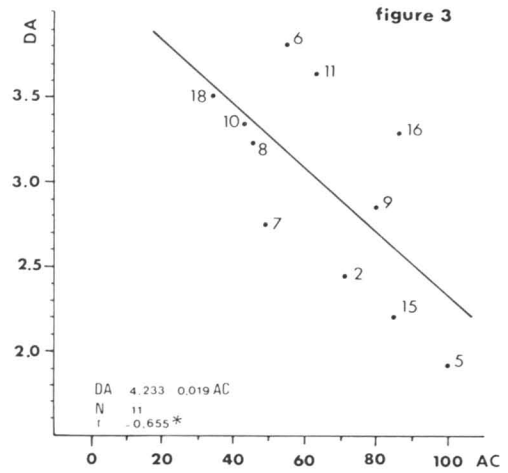
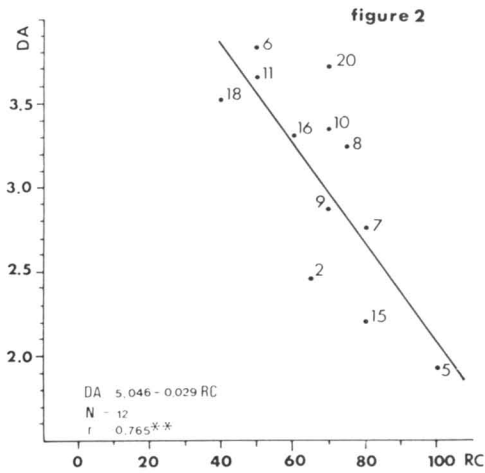
La diversité avienne est en corrélation positive avec le nombre de strates ayant un recouvrement supérieur ou égal à 16% (valeur moyenne de la classe de recouvrement D), avec l'indice du recouvrement de la végétation et avec la diversité de la stratification. Toutefois, ces corrélations ne sont pas significatives. Il semble donc que la relation entre la diversité avienne et la physionomie de la végétation obtenue par d'autres auteurs (MacArthur, 1964; Tramer, 1969; Karr & Roth, 1971; Blondel *et al.*, 1973; Willson, 1974; Røv, 1975; Moss, 1978; etc.) pour différents types d'habitats ne se vérifie pas dans tous les cas. La tendance cependant reste la même, à savoir que plus le nombre de strates et le recouvrement de chaque strate sont élevés, plus l'avifaune est diversifiée.

POURCENTAGE DE RECOUVREMENT DES CONIFÈRES

La diversité avienne diminue d'un milieu mixte à un milieu strictement coniférien

( $P < 0,01$ ) (fig. 2). Cette relation a été établie avec les sites ayant un pourcentage de recouvrement des conifères d'au moins 40%. Une forêt mixte fournirait plus d'habitats à cause de la présence à la fois de conifères et de décidus. Les oiseaux préférant une forêt coniférienne peuvent nicher dans une forêt mixte au même titre que les oiseaux préférant les décidus. Par exemple, on retrouve ensemble dans le site 6 (RC = 50%) la fauvette à gorge orangée (*Dendroica fusca*), espèce qui se tient préférentiellement dans un milieu plus coniférien, et la grive des bois (*Hylocichla mustelina*), espèce se retrouvant davantage dans des forêts décidues. D'autre part, une forêt mixte aura souvent un plus grand nombre de strates fournies, les décidus occupant ordinairement les strates plus hautes et les conifères, les strates plus basses.

Il n'y a qu'un site (n° 4; RC = 10%, voir tableau III) ayant un recouvrement en conifères quelque peu intermédiaire entre celui d'un boisé franchement décidu (RC = 0 ou 1%) et celui des boisés mixtes (RC ≈ 40 à 60%). On pourrait s'attendre à une diminution graduelle de la diversité avienne en fonction d'un gradient de recouvrement en conifères variant des boisés mixtes au boisés décidus comme il y en a une en



Figures 2-5. Droites de régression de la diversité avienne (DA) en fonction de : 2) du pourcentage de recouvrement des conifères (RC) des sites ayant un recouvrement supérieur ou égal à 40%; 3) du pourcentage d'arbres conifériens (AC) des sites ayant un AC supérieur ou égal à 34%; 4) du nombre d'espèces végétales des strates 3, 4, 5 et 6 (EV); 5) de l'humidité du sol (HS). Les astérisques indiquent le niveau de signification: \*,  $P < 0,05$ ; \*\*,  $P < 0,01$ .  $N$  représente l'effectif. Les numéros correspondent à chacun des sites (voir tableau I).

fonction du gradient variant des boisés mixtes aux boisés strictement conifériens. Cependant, cela ne se vérifie pas par les résultats obtenus dans les milieux décidus. Au lieu d'être uniformément basses, les diversités aviennes de ces milieux s'échelonnent de faibles à comparables à celles des milieux mixtes. Il semble donc que les communautés décidues suivent un patron différent et soient capables de supporter une faune avienne beaucoup plus riche que des milieux à prédominance coniférienne.

On a aussi mis en relation la diversité avienne avec les pourcentages d'arbres et d'arbustes conifériens. Les oiseaux ne sont évidemment pas attirés par le nombre d'arbres, mais plutôt par le recouvrement associé à chaque arbre. Il s'agissait de savoir ici si une mesure objective (comptage du nombre d'arbres) pouvait remplacer l'estimation subjective du recouvrement. La diversité avienne diminue bien d'un milieu mixte comportant 34% d'arbres conifériens à un milieu strictement coniférien (fig. 3), mais

la corrélation est moins significative ( $P < 0,05$  pour  $N = 11$ ) que celle impliquant le pourcentage de recouvrement en conifères ( $P < 0,01$  pour  $N = 12$ ). De plus, il n'y a pas de corrélation entre la diversité avienne et le pourcentage d'arbustes conifériens. Le pourcentage de recouvrement en conifères semble donc être un meilleur indicateur de la diversité avienne même si sa mesure est plus subjective que celle des pourcentages d'arbres et d'arbustes conifériens.

#### DIVERSITÉ DES ESPÈCES VÉGÉTALES

La diversité avienne montre une corrélation positive hautement significative ( $P < 0,01$ ) avec le nombre d'espèces végétales des strates 3, 4, 5 et 6, soit des strates dites arbustives et arborescentes (fig. 4). Les vingt sites sont inclus dans cette corrélation. De nombreux auteurs (MacArthur & MacArthur, 1961; MacArthur *et al.*, 1962; Karr, 1968) ont trouvé que la connaissance du nombre de plantes ne permet pas de prédire le nombre d'espèces aviennes. Ces auteurs ont utilisé toutes les espèces végétales, y compris celles de la strate herbacée dans leur calcul des indices de diversité; or, les

patrons de diversité des plantes herbacées ne montrent pas les mêmes tendances que ceux des arbres et des arbustes (Whittaker, 1956, 1977). Les indices de diversité qui tiennent compte de toutes les strates sont peut-être biaisés pour cette raison. James (1971), en faisant une analyse d'ordination avec quinze variables de la végétation, en est arrivée à la conclusion qu'une des variables les plus importantes pour décrire les différences des habitats chez les oiseaux était le nombre d'espèces d'arbres. Lovejoy (1972) a trouvé une corrélation entre la diversité avienne et la diversité des espèces d'arbres dans les forêts humides d'Amazonie. Il semble dans ce cas que le nombre d'espèces d'arbres soit une bonne base pour prédire la diversité des espèces d'oiseaux. Deux études menées dans des forêts tempérées ont aussi établi que les espèces d'arbres possédant différentes caractéristiques chimiques et physiques ont une influence beaucoup plus grande sur l'oiseau qu'on ne pensait auparavant (Holmes *et al.*, 1979; Holmes & Robinson, 1981). De plus, Wiens & Rotenberry (1981) ont montré que dans la steppe arbustive (shrubsteppe), la connaissance des espè-

TABLEAU III

Données sur la végétation et le milieu

Site	Recouvrement (%) des strates						NS	IRV	DS	RC	AC	ArC	EV	HS
	1	2	3	4	5	6								
1	42	38	1	16	38	63	5	156	2,246	0	0	0	5	8
2	63	38	3	32	63	0	4	136	2,022	65	71,05	100	5	1
3	1	0	1	38	94	0	2	133	0,980	0	0	0	5	2
4	88	16	3	32	38	63	5	152	2,185	10	7,14	14,29	6	2
5	16	16	3	1	38	0	3	58	1,721	100	100	100	2	1
6	16	38	38	63	11	0	4	150	2,089	50	55,26	57,64	13	5
7	38	38	3	38	88	0	4	167	1,965	80	48,72	40,54	8	5
8	16	16	38	63	63	3	5	183	2,183	75	45,45	72,15	8	4
9	3	0	0	3	88	0	1	91	0,406	70	79,49	66,67	3	2
10	38	1	0	16	88	3	3	108	1,460	70	42,86	19,05	6	5
11	88	0	1	16	88	16	4	121	1,655	50	62,96	47,50	10	6
12	3	88	3	38	63	0	3	192	1,690	1	0	0	13	6
13	88	38	3	16	38	88	5	183	2,162	0	0	0	8	4
14	38	38	16	16	63	38	6	171	2,431	0	0	0	8	4
15	94	1	1	57	0	0	2	59	1,057	80	84,62	90,91	2	4
16	88	11	11	88	20	1	3	131	1,841	60	86,36	96	4	4
17	38	3	3	38	88	0	3	132	1,664	1	0	0	7	5
18	11	38	63	88	63	0	4	252	2,111	40	34,36	66,49	17	4
19	38	0	0	16	0	88	3	104	1,292	0	0	0	3	4
20	88	3	0	1	63	0	2	67	1,149	70	90,63	100	4	6

DS: diversité de la stratification, IRV: indice du recouvrement de la végétation, NS: nombre de strates, RC: pourcentage de recouvrement des conifères, AC: pourcentage d'arbres conifériens, ArC: pourcentage d'arbustes conifériens, EV: nombre d'espèces végétales arbustives et arborescentes, HS: humidité du sol.



ces arbustives permettait plus de prédire la présence de certains oiseaux qu'une connaissance de la structure de l'habitat. D'autre part, Karr & Roth (1971) ont montré qu'une addition de végétation dans la strate herbacée n'ajoutait que très légèrement à la diversité avienne : c'est avec l'addition des arbustes, puis des arbres que la diversité augmente plus rapidement. Les oiseaux seraient donc très sensibles à la structure des strates arbustives et arborescentes et peu à celle de la strate herbacée, ce qui est sensé car, en fait, la strate herbacée varie énormément durant la saison de nidification et n'a peut-être pas au début les caractéristiques recherchées.

Le nombre d'espèces d'arbres et d'arbustes est proportionnel ( $r = 0,480$  pour  $N = 20$ ,  $P < 0,05$ ) à la diversité de la stratification : plus il y a d'espèces arbustives et arborescentes (ayant différents profils et types de feuillage), plus la diversité de la stratification est grande. MacArthur & MacArthur (1961), tout en observant la même relation, ont avancé que des milieux de même structure auront la même diversité qu'ils soient composés de peu ou de plusieurs espèces de plantes. Ceci se vérifie peu dans notre étude : les milieux de même structure et de même diversité avienne auront aussi le même nombre d'espèces d'arbres et d'arbustes.

Il est possible qu'une plus grande diversité d'espèces végétales attire une plus grande diversité d'insectes comme l'ont montré Murdoch *et al.* (1972) dans des champs du Michigan : une plus grande diversité de nourriture attirerait alors une plus grande diversité d'organismes s'en nourrissant. C'est encore une hypothèse à vérifier, du moins en milieu forestier.

Il est intéressant de noter que nous avons obtenu une corrélation hautement significative entre la diversité avienne et le nombre d'espèces arbustives et arborescentes alors que celles impliquant la structure de la végétation n'étaient pas significatives. Il semblerait donc, d'après nos données, que les oiseaux seraient plus attirés par la variété des espèces d'arbustes et d'arbres, variété elle-même reliée à la structure de la végétation. La richesse en arbres et arbustes constitue un excellent indicateur de la diversité avienne et pourra être utilisé pour prédire la diversité avienne dans les forêts du sud du Québec.

Il est bon de mentionner ici l'étude similaire que DesGranges (1974, 1980) a conduite

dans les forêts de la Mauricie au Québec. DesGranges n'a pu obtenir aucune corrélation significative entre la diversité avienne et la diversité taxonomique ou physiologique du milieu. Son étude ne comprenait que six milieux, ce qui peut expliquer son manque de corrélations significatives, bien que Røv (1975) ait obtenu une corrélation significative entre la diversité avienne et la diversité de la stratification avec seulement quatre milieux. Dans son calcul des diversités aviennes, DesGranges a considéré toutes les espèces nicheuses, incluant pics, hiboux et gélinottes, alors que nous nous sommes limités aux passereaux chanteurs. Ses valeurs de diversité taxonomique de la végétation ont été obtenues en utilisant les indices du couvert spécifique des arbres et des arbustes de chaque quadrat, ce qui mêle en fait taxonomie et physiologie. Il a de plus utilisé un autre indice que celui de Shannon-Weaver dans son calcul de la diversité physiologique des milieux. Il semble donc que les différences dans la prise et le traitement des données puissent expliquer l'écart qui existe entre les résultats de DesGranges et les nôtres ainsi que ceux de nombreux autres auteurs. Malgré son manque de corrélations significatives, DesGranges ne croit pas que la diversité taxonomique d'un milieu influence directement la diversité avienne, mais, empruntant l'expression de Blondel *et al.* (1973), dit que « nous savons que l'oiseau est un piètre botaniste ». Les études de Lovejoy (1972), Holmes *et al.* (1979), Holmes & Robinson (1981), Wiens & Rotenberry (1981) et la nôtre tendent maintenant à montrer que l'oiseau est un meilleur botaniste qu'on ne le supposait.

#### DIVERSITÉ AVIENNE EN FONCTION DE L'HUMIDITÉ DU SOL

Il y a une corrélation hautement significative ( $P < 0,01$ ) entre la diversité avienne et l'humidité apparente du sol (fig. 5). Seul le site n° 1 n'a pas été inclus dans le calcul de la corrélation. Il s'agit d'un érablière argentée inondée au printemps jusque vers la fin du mois de juin. Les strates basses (1 et 2) sont donc nulles lors de la nidification des oiseaux (le relevé de la végétation a été fait au début du mois d'août et ne reflète donc pas cette réalité). Ceci empêche un bon nombre d'espèces de s'installer ; c'est le cas par exemple de la fauvette couronnée (*Seiurus aurocapillus*) et des grives (*Hylocichla* sp.) qui font leur nid sur le sol ou près du sol. Ce site, en fait, se rapproche du milieu aquatique au printemps : nous avons en

effet remarqué que des canards noirs (*Anas rubripes*) y avaient niché et que de nombreuses tortues le sillonnaient.

Il apparaît évident que les oiseaux ne sont pas attirés par l'humidité du sol en soi, mais que celle-ci doit agir sur un autre facteur plus significatif. L'humidité du sol n'est pas en corrélation avec la diversité de la stratification, ni avec le pourcentage de recouvrement en conifères. Shugart & James (1973) ont trouvé que la densité et la diversité avienne diminuaient beaucoup d'une forêt mésique à une forêt xérique et que ce serait l'uniformité de la structure qui y attirerait moins d'oiseaux. Smith (1977) a montré que le gradient d'humidité est important dans la distribution des oiseaux forestiers et qu'aucune espèce ne montre d'affinité pour les forêts les plus sèches. Pour expliquer ceci, il avance que le comportement alimentaire pourrait expliquer certaines préférences quant au biotope, que la pauvreté en avifaune des forêts xériques pourrait refléter l'origine récente de la forêt sèche ou qu'à cause de la couverture plus ouverte de ces forêts, la quantité réduite d'ombre pourrait être un facteur critique pendant les mois chauds d'été. Smith (1977) a aussi observé que le nombre d'insectes et d'invertébrés du sol semble être réduit dans les forêts sèches, ceci limitant leur exploitation par beaucoup d'espèces d'oiseaux.

Il se pourrait qu'une plus grande humidité entraîne un plus grand nombre d'espèces d'insectes et ainsi un plus grand nombre d'espèces aviennes insectivores (Murdoch *et al.*, 1972). Au Québec et dans les régions tempérées, les passereaux nicheurs sont surtout insectivores (au moins 35 espèces sur les 40 dénombrées dans le cadre de la présente étude sont insectivores). Certaines espèces se nourrissent au sol (les grives), d'autres sur les troncs d'arbres (le grimpeur brun), certaines au vol (les mouche-rolles). Une plus grande diversité d'insectes permettrait aux différents groupes d'insectivores de trouver leur type de nourriture. Janzen & Schoener (1968), dans une région tropicale, ont trouvé que l'augmentation de la diversité des espèces d'insectes est liée, entre autres, à une augmentation des sources d'humidité. Il se pourrait donc que la diversité des insectes soit reliée d'une certaine manière à l'humidité du sol. D'autres études seraient toutefois nécessaires pour appuyer cette hypothèse. On peut toutefois dire que l'humidité du sol est un très bon indicateur de la diversité avienne.

#### DIVERSITÉ AVIENNE TOTALE

Très rapidement, il est apparu que les corrélations entre la diversité de la nichée totale et les facteurs du milieu sont beaucoup moins fortes que lorsqu'il s'agit de la première nichée seulement. Dans tous les cas, il faut enlever plus de sites que précédemment pour obtenir une corrélation souvent moins significatives. Lors de la période des dénombrements, il a été remarqué que de nouvelles espèces et de nouveaux individus se sont ajoutés après le 29 juin. Il s'agit soit d'individus qui nichent pour la seconde fois, soit d'individus qui nichent tardivement. Par exemple, la grive solitaire (*Hylocichla guttata*) n'a été entendue qu'après le 29 juin dans la majorité des cas (cinq individus sur sept). La compétition intraspécifique est à ce moment beaucoup moins forte qu'au début de la saison où tous les mâles luttent pour obtenir ou défendre un territoire. Ce ne sont donc plus les mêmes pressions qui s'exercent et partant, les nicheurs tardifs ne peuvent être considérés en même temps et sur le même pied que les premiers nicheurs. La plus grande richesse d'un site en nicheurs tardifs pourrait être due à une plus grande disponibilité de nourriture (principalement des insectes, à cette époque).

#### Conclusion

Il y a une corrélation positive, mais non significative entre la diversité avienne, d'une part, et le nombre de strates, l'indice de recouvrement de la végétation et la diversité de la stratification, d'autre part. Par contre, la corrélation est hautement significative ( $P < 0,01$ ) lorsque l'on considère le nombre d'espèces arbustives et arborescentes et l'humidité apparente du sol. La diversité avienne diminue d'un milieu mixte à un milieu coniférien lorsque l'on prend en considération le pourcentage de recouvrement des conifères ( $P < 0,01$ ) et aussi le pourcentage d'arbres conifériens ( $P < 0,05$ ); toutefois, avec le pourcentage d'arbustes conifériens, la corrélation n'est pas significative. Ces résultats pourraient indiquer que l'oiseau se fie plus aux caractères taxonomiques qu'on ne le pensait.

Lors d'inventaires biophysiques reliés soit aux enjeux écologiques d'interventions humaines, soit au zonage écologique ou à l'aménagement du territoire, il serait donc possible d'avoir recours à la très forte corrélation existant entre la diversité avienne et

le nombre d'espèces végétales pour prédire la diversité avienne des milieux forestiers du sud-ouest du Québec. La diversité des arbres et des arbustes est une mesure facile à faire sur le terrain, car il suffit de compter le nombre d'espèces sur une surface de 15 m par 30 m. Comme il ne s'agit pas d'une estimation, les valeurs ne sont pas sujettes à varier selon l'observateur. La diversité de la végétation est un facteur indicatif très fiable qui devrait être valable pour la plupart des types de communautés d'oiseaux forestiers du sud-ouest du Québec. Il est très probable que la même approche soit applicable aux milieux forestiers des autres régions.

### Remerciements

Cette recherche a été rendue possible grâce à une subvention du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie Canada octroyée au second auteur, à des bourses d'étude postgrade du même organisme et du ministère de l'Éducation du Québec (Direction générale de l'enseignement supérieur) dont a bénéficié le premier auteur.

Nous tenons à remercier tout particulièrement monsieur Normand David du Centre de recherches écologiques de Montréal qui a contribué aux travaux sur le terrain lors des dénombrements d'oiseaux, ainsi qu'à l'échantillonnage des communautés végétales. Sans ses remarques avisées, cette recherche n'aurait pas été complète.

### Références

- BLONDEL, J., 1965. Étude des populations d'oiseaux dans une garrigue méditerranéenne. Description du milieu, de la méthode de travail et exposé des premiers résultats obtenus à la période de reproduction. — *Terre et Vie*, 1965: 311-342.
- BLONDEL, J., 1969. Méthodes de dénombrement des populations d'oiseaux. — Pages 97-151 in M. Lamotte & F. Bourlière. Problèmes d'écologie: l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres. Masson, Paris, 303 p.
- BLONDEL, J., C. FERRY & B. FROCHOT, 1973. Avifaune et végétation-essai d'analyse de la diversité. — *Alauda*, 41: 63-84.
- BOUCHARD, A. & P.F. MAYCOCK, 1978. Les forêts décidues et mixtes de la région appalachienne du sud québécois. — *Naturaliste can.*, 105: 383-415.
- CRIVELLI, A. & P. BLANDIN, 1977. L'organisation spatiale d'un peuplement de passereaux forestiers. — *Alauda*, 45: 219-230.
- CYR, A., 1974. L'avifaune nicheuse de deux types d'associations forestières dans la zone du nouvel aéroport international de Montréal à Mirabel, Québec. — *Mém. M.Sc., Univ. Montréal*, 237 p.
- CYR, A., 1975. Méthode de description cartographique de l'habitat d'oiseaux forestiers. — *Alauda*, 43: 417-426.
- DANSEREAU, P., P. B. CLIBBON & G. PARÉ, 1975. EZAIM: Écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal. Atlas Ezaim. — Presses Univ. Montréal, Montréal, 27 p. + 53 planches.
- DESGRANGES, J.-L., 1974. Étude de quelques communautés aviennes du Parc national de la Mauricie, Québec. — *Mém. M.Sc. Univ. Alberta*, 138 p.
- DESGRANGES, J.-L., 1980. Des communautés aviennes du Parc national de la Mauricie, Québec. — *Pub. hors-série 41. Serv. can. Faune*, 34 p.
- ENEMAR, A., 1959. On the determination of the size and composition of a passerine bird population during the breeding season. A methodological study. — *Var Fagelvärd*, suppl. no. 2, 114 p.
- FERRY, C., 1964. Un dénombrement d'oiseaux nicheurs: 16 ha en forêt de Cîteaux, printemps 1963. — *Jean le Blanc*, 3: 4-9.
- FERRY, C. & B. FROCHOT, 1968. Recherches sur l'écologie des oiseaux forestiers en Bourgogne. II - Trois années de dénombrement des oiseaux nicheurs sur un quadrat de seize hectares en forêt de cîteaux. — *Alauda*, 36: 63-82.
- GODRON, M., P. DAGET, L. EMBERGER, E. LEFLOC'H, G. LONG, J. POISSONET, C. SAUVAGE & J. WACQUANT, 1968. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu (principes et transcription sur cartes perforées). — Ed. du C.N.R.S., Paris, 292 p.
- GRANDTNER, M. M., 1966. La végétation forestière du Québec méridional. — Presses Univ. Laval, Québec, 216 p.
- GRUPE D'ÉTUDE SUR L'ÉCOLOGIE APPLIQUÉE À L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, 1974. Code sur les relevés d'inventaires écologiques du territoire. — *Serv. Rech., Dir. gén. Forêts, Min. Terres Forêts Québec*, Guide n° 1, 2e ed., 254 p.
- HOLMES, R.T. & S.K. ROBINSON, 1981. Tree species preferences of foraging insectivorous birds in a northern hardwoods forest. — *Oecologia*, 48: 31-35.
- HOLMES, R.T. R.E. BONNEY, J.R. & S.W. PACALA, 1979. Guild structure of the Hubbard Brook bird community: a multivariate approach. — *Ecology*, 60: 512-520.
- JAMES, F.C., 1971. Ordinations of habitat relationships among breeding birds. — *Wilson Bull.*, 83: 215-236.
- JANZEN, D.H. & T.W. SCHOENER, 1968. Differences in insect abundance and diversity between wetter and drier sites during a tropical dry season. — *Ecology*, 49: 96-110.

- KARR, J.R., 1968. Habitat and avian diversity on a strip-mined land in east-central Illinois. — *Condor*, 70 : 348-357.
- KARR, J.R. & R.R. ROTH, 1971. Vegetation structure and avian diversity in several new world areas. — *Am. Nat.*, 105 : 423-435.
- KENDEIGH, S.C., 1944. Measurement of bird populations. — *Ecol. Monogr.*, 14 : 67-106.
- KRICHER, J.C., 1972. Bird species diversity: the effect of species richness and equitability on the diversity index. — *Ecology*, 53 : 278-282.
- KRICHER, J.C., 1973. Summer bird species diversity in relation to secondary succession in the New Jersey Piedmont. — *Am. Midl. Nat.*, 89 : 121-137.
- KÜCHLER, A.W., 1967. *Vegetation mapping*. — Ronald Press, New York, 472 p.
- LLOYD, M., J.H. ZAR & J.R. KARR, 1968. On the calculation of information-theoretical measures of diversity. — *Am. Midl. Nat.*, 79 : 257-272.
- LOVEJOY, T.E., 1972. Bird species diversity and composition in Amazonian rain forests. — *Am. Zool.*, 12 : 711-712.
- MACARTHUR, R.H., 1957. Population ecology of some warblers of northeastern coniferous forest. — *Ecology*, 39 : 599-619.
- MACARTHUR, R.H., 1964. Environmental factors affecting bird species diversity. — *Am. Nat.*, 98 : 387-397.
- MACARTHUR, R.H. & J.W. MACARTHUR, 1961. On bird species diversity. — *Ecology*, 42 : 594-598.
- MACARTHUR, R.H., J.W. MACARTHUR & J. PREER, 1962. On bird species diversity. II. Prediction of bird census from habitat measurements. — *Am. Nat.*, 96 : 167-174.
- MARCOTTE, G. & M.M. GRANDTNER, 1974. Étude écologique de la végétation forestière du Mont Mégantic. — *Serv. Rech., Dir. gén. Forêts, Min. Terres Forêts Québec, Mém.* 19, 156 p.
- MÉNARD, G., 1979. Les facteurs indicatifs de la diversité des peuplements d'oiseaux forestiers du sud du Québec. — *Mém. M.Sc., Univ. Montréal*, 75 p.
- MOSS, D., 1978. Diversity of woodland song-bird populations. — *J. Anim. Ecol.*, 47 : 521-527.
- MURDOCH, W.W., F.C. EVANS & C.H. PETERSON, 1972. Diversity and pattern in plants and insects. — *Ecology*, 53 : 819-829.
- RECHER, H.F., 1969. Bird species diversity and habitat diversity in Australia and North America. — *Am. Nat.*, 103 : 75-80.
- RECHER, H.F., 1971. Bird species diversity: a review of the relation between species number and environment. — *Proc. Ecol. Soc. Aust.*, 6 : 133-152.
- ROTH, R.R., 1976. Spatial heterogeneity and bird species diversity. — *Ecology*, 57 : 773-782.
- ROV, N., 1975. Breeding bird community structure and species diversity along an ecological gradient in deciduous forest in western Norway. — *Ornis Scand.*, 6 : 1-14.
- SHANNON, C.E. & W. WEAVER, 1963. *The mathematical theory of communication*. — Univ. Illinois Press, Urbana, 117 p.
- SHUGART, H.H. Jr. & D. JAMES, 1973. Ecological succession of breeding bird population in northwestern Arkansas. — *Auk*, 90 : 62-77.
- SMITH, K.G., 1977. Distribution of summer birds along a forest moisture gradient in an Ozark watershed. — *Ecology*, 58 : 810-819.
- SVENSSON, S., 1970. Recommendation for an international standard for a mapping method in bird census work by the international bird census committee. — Pages 49-52 in *Svensson, S. (ed.) Bird census work and environmental monitoring. Bull. Ecol. Rech. Comm.*, no. 9, 52 p.
- TRAMER, E.J., 1969. Bird species diversity: components of Shannon's formula. — *Ecology*, 50 : 927-929.
- WHITTAKER, R.H., 1956. *Vegetation of the Great Smoky Mountains*. — *Ecol. Monogr.*, 26 : 1-80.
- WHITTAKER, R.H., 1977. Evolution of species diversity in land communities. — *Evol. Biol.*, 10 : 1-67.
- WIENS, J.A. & J.T. ROTENBERRY, 1981. Habitat associations and community structure of birds in shrubsteppe environments. — *Ecol. Monogr.*, 51 : 21-41.
- WILLSON, M.F., 1974. Avian community organization and habitat structure. — *Ecology*, 55 : 1017-1029.

## MODÈLE DE SIMULATION DE LA DYNAMIQUE DES COMMUNAUTÉS AVIENNES EN FONCTION DE LA SUCCESSION DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE

M. DARVEAU, P. BELLEFLEUR et B. HOUDE<sup>1</sup>

Département d'écologie et pédologie,  
Faculté de foresterie et géodésie,  
Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4

### Résumé

Un modèle de simulation numérique d'une communauté avienne est construit en postulant que l'évolution de la communauté répond au changement physiognomique de la succession forestière. Des relations fonctionnelles empiriques de la réponse des oiseaux de chaque niche stratigraphique d'alimentation à la physiognomie végétale forment le cœur du modèle. Les résultats de la simulation reproduisent les données d'observation avec fidélité. Le modèle suggère d'entreprendre expérimentalement la détermination précise des relations fonctionnelles proposées pour ajouter à la compréhension de la dynamique des communautés aviennes.

### Abstract

A digital simulation model of a bird community was built on the assumption that the community responded to physiognomical changes during forest secondary succession. The model was based on a set of empirical functional relationships of the birds' response to plant physiognomy, for each feeding niche. The results of the simulation were very close to the observations. The model suggests further experimentation to verify the proposed functional relationships in order to better comprehend the dynamics of bird communities.

### Introduction

Depuis qu'il a été démontré que les communautés aviennes varient grandement dans leur composition (Kendeigh, 1945), plusieurs études ont été effectuées dans le but de déterminer les principaux facteurs écologiques qui peuvent influencer leur composition et leur structure (MacArthur & MacArthur, 1961; MacArthur, 1964; Hilden, 1965; Recher, 1969; Karr & Roth, 1971; Blondel *et al.*, 1973; Shugart & James, 1973; Morse, 1976; Roth, 1976; Leruth, 1976; Erskine, 1977; Austin & Perry, 1979; Stiles, 1980). Dans un effort de synthèse, Diamond (1975) a proposé un schéma ambitieux des règles régissant la structure et la composition des communautés, schéma basé sur la compétition interspécifique. Ses règles d'assemblage ont été durement critiquées par Connor & Simberloff (1979) qui lui reprochent d'avoir omis de considérer l'hypothèse selon la-

quelle la composition des communautés pouvait résulter du pur hasard. DesGranges (1980) ainsi que Anderson & Ohmart (1980) ont démontré que l'évolution des communautés aviennes présente une corrélation avec le changement de la physiognomie de la végétation. Conner & Adkisson (1975), Conner *et al.* (1975), Boag (1976), Franzeb (1977), Geibert (1980), Kroll (1980), Voorhees & Cassel (1980), Marcot (1980) et Anderson & Ohmart (1980) ont étudié, sur des populations d'oiseaux, l'effet d'interventions sylvicoles reliées à la récolte de matière ligneuse ou à l'entretien de corridors de transport.

En ce qui concerne la modélisation en ornithologie, Thompson & Vertinsky (1975) ont démontré qu'un modèle de Markov peut adéquatement simuler le processus de la recherche de proies chez les oiseaux insectivores. Miller *et al.* (1972) ont produit des modèles de simulation pour l'aménagement des populations de grues du Canada (*Grus canadensis*) et Hochbaum & Caswell (1979) pour celui des canards malards (*Anas platyrhynchos*) dans les prairies canadiennes.

<sup>1</sup> Adresse actuelle: Environnement Canada, Service canadien de la faune, 2700 boulevard Laurier, Sainte-Foy, Québec G1V 4H5.

Nichols *et al.* (1980) ont construit un simulateur de la population de milans des Everglades (*Rostrhamus sociabilis*) en utilisant la méthode de Lotka-Leslie.

Les méthodologies énumérées au paragraphe précédent et la netteté de la corrélation trouvée par DesGranges (1980) suggèrent un modèle simple de simulation numérique selon lequel une communauté avienne se modifie en réponse aux changements de la physionomie de la végétation pendant une succession forestière. Le but de cet article est de présenter un modèle de simulation *a priori* basé sur ce postulat pour faire ressortir l'intérêt qu'il y aurait à préciser expérimentalement les relations fonctionnelles que nous proposons, pendant les premières 70 années de la succession secondaire de l'érablière à bouleau jaune issue d'une coupe à blanc.

### Matériel et méthodes

#### METHODOLOGIE DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE

La simulation numérique d'un processus dynamique consiste à évaluer, à l'aide d'une représentation mathématique ou d'un modèle, les variables d'état du processus à des intervalles de temps fixes. Deux démarches sont couramment suivies. La première, que nous avons adoptée, vise la création d'un modèle empirique à partir d'observations et de postulats. Ces observations n'ont pas besoin d'être aussi élaborées que celles d'un dispositif expérimental; elles pourraient, si elles étaient disponibles, être puisées dans la littérature. La validation de ce modèle se fait en comparant ses prédictions aux observations qui ont servi à le construire, comme dans le cas d'une équation de régression. L'aboutissement d'une telle simulation est l'élaboration d'hypothèses qui pourront, comme toute hypothèse, être par la suite mises à l'épreuve par l'expérimentation. L'utilité de cette démarche est donc de créer des hypothèses de travail. Comme elle a lieu avant l'expérimentation, elle est qualifiée de simulation *a priori*. La deuxième démarche possible, appelée simulation *a posteriori*, ne vient qu'après l'expérimentation, alors que les hypothèses ont été confirmées et les relations fonctionnelles déterminées. Le modèle empirique est remplacé par les relations fonctionnelles et la simulation est refaite. Son aboutissement est une reproduction fidèle du processus étudié. L'utilité de cette deuxième démarche est de prédire le dénouement d'un processus à un intervalle de temps donné.

#### RÉGION ÉTUDIÉE

Nos observations ont été faites dans le nord de la municipalité de Beauport (lat. 46° 52' N.; long. 71° 11' O.), à environ 25 km de la ville de Québec. Ce secteur fait partie des contreforts des Laurentides de Québec (Ritchot, 1964), plus précisément de l'unité est de la région des moyennes Laurentides (Gagnon & Marcotte, 1980). L'altitude y varie de 335 à 415 m. La température moyenne annuelle y est de 3,2° C (Ferland & Gagnon, 1974). La précipitation moyenne annuelle est de 1 250 mm, dont le tiers sous forme de neige (Villeneuve, 1967). Les sols de la région, appuyés sur des dépôts minces originant de moraine de fond ou d'ablation, constituent des podzols humo-ferriques et des brunisols dystriques (Raymond *et al.*, 1976).

La végétation, typique de la région écologique des moyennes Laurentides, est caractérisée par l'érablière à bouleau jaune (*Betula luteae-Aceretum sacchari*) sur les sols à drainage moyen (Gagnon & Marcotte, 1980). Les sols à drainage plus fort supportent une pessière noire (*Piceetum marianae*) alors que ceux à drainage faible ou imparfait supportent des peuplements de sapin baumier (*Abies balsamea*), thuya de l'est (*Thuja occidentalis*) et d'épinette noire (*Picea mariana*). Les peuplements pionniers et de transition sont dominés par le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) ou l'érable rouge (*Acer rubrum*).

#### ECHANTILLONNAGE DE LA VÉGÉTATION

Pour représenter les principaux stades de l'évolution d'une érablière à bouleau jaune nous avons considéré quatre peuplements, âgés respectivement d'environ 3, 15, 40 et 70 ans. L'âge approximatif des peuplements fut déterminé au moyen d'une sonde de Pressler ou à l'aide de données sur leur historique, selon le cas. Le choix de chacun de ces groupements fut basé sur des critères de représentativité, d'uniformité, d'étendue, de topographie et d'accessibilité. Les quatre peuplements choisis se retrouvent à l'intérieur d'une zone d'à peu près 1 km de rayon.

Dans chacun des peuplements, nous avons établi une place-échantillon quadrangulaire de 20 m de côté, mesurée avec un gallon métrique. Nous avons fait l'évaluation du pourcentage de couvert de toutes les

espèces dans chacune des strates, selon la stratification proposée par Payette & Gauthier (1972), sauf que nous n'avons pas subdivisé la strate herbacée. Le pourcentage de couvert de chacune des strates a été évalué séparément, de même que le pourcentage de couvert au sol des branches et arbres morts.

#### ECHANTILLONNAGE ORNITHOLOGIQUE

Il existe plusieurs méthodes d'inventaire des populations d'oiseaux d'un milieu donné (Pough, 1950; Svensson, 1970; Blondel, 1975). Ces méthodes donnent des résultats variables et peuvent répondre à différents objectifs. Pour notre étude, nous avons choisi la méthode des plans quadrillés, telle que proposée par Pough (1950) et Blondel (1969). Compte tenu de nos objectifs, des contraintes de temps et de ressources humaines, la dimension des parcelles fut réduite à 4 ha au lieu des 10 ha suggérés par Pough (1950). Ainsi quatre parcelles rectangulaires de 165 m de largeur par 240 m de longueur furent établies à l'aide d'une boussole et d'une chaîne d'arpentage en métal. Les quatre coins de chaque parcelle furent balisés avec du ruban rouge et des balises jaunes furent placées à tous les 40 m le long du quadrilatère. La disposition des parcelles fut faite de façon à minimiser les effets de bordure.

L'échantillonnage s'est échelonné de la mi-juin au début juillet 1979, ce qui correspond à la période de nidification de la majorité des oiseaux observés. Chaque journée d'inventaire débutait à 4 h00 pour se terminer au plus tard à 11 h30. L'ordre de visite des parcelles fut changé à chaque jour, pour éviter que certaines parcelles ne soient jamais visitées durant la période d'activité maximale des oiseaux. Nous avons évité de travailler les jours où la pluie et le vent auraient pu diminuer l'activité des oiseaux. Chaque parcelle fut visitée cinq fois, partant de l'estimation de DesGranges (1980) que cinq recensements, avec un rendement moyen de 47,6%, permettront de recenser 97,0% des populations aviennes d'un secteur donné dans ce type de forêt. À chaque recensement, la parcelle était parcourue à pied et tout contact avec un oiseau était noté sur un plan quadrillé. Par la suite, les contacts avec chaque oiseau furent transcrits sur autant de plans qu'il y avait d'espèces et les territoires furent délimités en considérant les nuages de points de contacts apparaissant sur le plan.

Finalement, étant donné que la différenciation des communautés aviennes dépend des niches qu'offre chaque habitat (Whittaker *et al.*, 1973), nous avons fait des observations sur la niche stratigraphique d'alimentation (*sensu* DesGranges, 1980) de chaque espèce. Ces observations furent combinées à celle d'Erskine (1977) et de DesGranges (1980) et utilisées pour regrouper les espèces à niches semblables dans le modèle de simulation.

#### SIMULATION DE LA FAUNE AVIENNE

Conner *et al.* (1975) et Austin & Perry (1979) ont démontré que les oiseaux sont plus sensibles aux caractéristiques de la physionomie de la végétation, à la grosseur des arbres par exemple, qu'à sa composition, du moins pour le choix du site de nidification, ce qui est déterminant dans l'établissement de leur territoire. Geibert (1980) a mis en évidence la perception par la faune avienne d'un autre paramètre physiologique, la surface terrière des peuplements. DesGranges (1980) a démontré que ce n'est pas la composition végétale qui influence directement la composition des communautés aviennes, mais plutôt la physionomie de la végétation résultant de sa composition. Il importe donc davantage aux oiseaux qui se nourrissent sur des arbustes, par exemple, d'établir leur territoire dans une forêt qui comprend beaucoup d'arbustes plutôt qu'une espèce donnée d'arbuste. Pour les espèces de chaque niche stratigraphique d'alimentation, il est donc possible de poser comme postulat que les oiseaux sont sensibles à la physionomie de la forêt qui leur garantit une réserve de nourriture. Nous posons donc comme postulat que les espèces des six niches stratigraphiques d'alimentation (*sensu* DesGranges, 1980) ont une densité qui varie en fonction des caractéristiques physiologiques propres à leur type d'alimentation, comme suit :

V (Insectivores qui se nourrissent au vol) : leur densité augmente linéairement avec le volume foliaire des strates arborées moyenne et haute, jusqu'à un seuil que nos observations situent autour de 240 oiseaux/100 ha.

T (Insectivores qui se nourrissent sur les troncs) : ils augmentent leur densité de façon sigmoïde en fonction de la surface extérieure des troncs jusqu'à environ 100 oiseaux/100 ha.

O (Omnivores qui se nourrissent en différents endroits) : nous posons comme postulat que leur densité augmente de façon sigmoïde avec une faible pente en fonction de la somme des pourcentages de couvert de toutes les strates de végétation, jusqu'à un plateau d'environ 50 oiseaux/100 ha quand la somme des couverts atteint 175%.

C (Insectivores qui se nourrissent au niveau de la strate arborescente) : ils augmentent rapidement en nombre sitôt que le volume foliaire des strates arbustive et arborée atteint 1,5 millions  $m^3/100$  ha, jusqu'à une densité maximale de 250 oiseaux/100 ha lorsque le volume foliaire de ces strates atteint 15 millions  $m^3/100$  ha. Nos observations indiquent que ces oiseaux n'utilisent pas que la strate arborescente, comme le nom de leur niche stratigraphique d'alimentation le suppose, mais aussi la strate arbustive, puisqu'on les trouve déjà en petit nombre dans les peuplements qui ne possèdent pas encore de strate arborescente.

B (Insectivores qui se nourrissent au niveau de la strate arbustive) : leur densité s'accroît suivant la somme du volume foliaire des strates arbustives basse et haute d'une façon linéaire et sans seuil apparent dans les limites de nos observations.

S (Espèces, en majorité insectivores, qui se nourrissent au niveau du sol) : leur densité augmente de façon linéaire en fonction du couvert des branches et arbres morts jonchant le sol.

#### SIMULATION DE LA VÉGÉTATION

Pour pouvoir suivre le changement de la composition des communautés aviennes regroupées en niches stratigraphiques d'alimentation selon les postulats mentionnés plus haut, il faut savoir comment évolue la végétation durant la succession. La succession forestière peut se représenter à l'aide de divers modèles déterministes ou stochastiques (Shugart *et al.*, 1973; Horn, 1975, 1976; Connell & Slatyer, 1977; Van Hulst, 1978; Bellefleur, 1981). Lorsque le but visé est de comprendre la dynamique de la succession, les modèles se basent sur les relations fonctionnelles des mécanismes de la croissance des populations. Notre étude veut modéliser la succession forestière d'une manière déterministe pour évaluer des paramètres dendrométriques et physiologiques de la forêt qui serviront de support pour étudier la réponse des communautés aviennes. Nous

avons donc choisi de construire un modèle de simulation de la végétation qui reproduise en continu les conditions de la forêt entre 0 et 70 ans à partir de nos données d'observation : les valeurs intermédiaires aux années d'observation ont été interpolées linéairement. Nous avons mesuré sur le terrain la hauteur des strates, le pourcentage de couvert des six principales espèces ligneuses pour chaque strate et le pourcentage de couvert des branches et arbres morts au sol. Nous avons utilisé les équations de Plonski (1960) pour l'évaluation du nombre de tiges et de la surface terrière (somme de l'aire des troncs à 1,4 m du sol par ha) de l'érablière à bouleau jaune. À partir de ces valeurs, nous avons calculé le couvert et le volume de feuillage de chaque strate et la somme du couvert et du volume foliaire des strates d'intérêt particulier à chaque niche stratigraphique d'alimentation. La surface extérieure des troncs a été calculée à partir du nombre de tiges et de leurs dimensions.

### Résultats et discussion

#### OBSERVATIONS

##### *Physionomie de la végétation*

Les quatre peuplements étudiés sont respectivement à l'état de taillis (3 ans), gaulis (15 ans), perchis (40 ans) et futaie (70 ans). Le premier peuplement se situe presque au sommet d'une montagne sur une pente de 10%, orientée au sud-est, et origine d'une coupe couvrant une superficie de 6,4 ha. Le sol forme un podzol humo-ferrique à moder et le drainage varie de modéré à mauvais. Le gaulis s'étend sur un terrain plat uniforme constitué d'un podzol humo-ferrique à moder sur till plus épais. Son drainage est bon à modéré et le peuplement origine d'un feu. Le perchis occupe le moyen versant d'une montagne sur une pente nord-est de 7%. Le sol constitue un podzol humo-ferrique à moder dont le drainage varie de bon à modéré. Enfin la futaie occupe le haut versant d'une montagne sur pente de 10% exposée au nord-est. Le sol forme un podzol humo-ferrique à moder et offre un bon drainage.

Il se pourrait que le taillis n'évolue pas vers une érablière à bouleau jaune, mais plutôt vers une sapinière, en raison du drainage et de la présence d'une sapinière en bordure de coupe. Cependant, à ce stade peu avancé de la croissance, la physionomie de ces peuplements est à peu près la même. Le



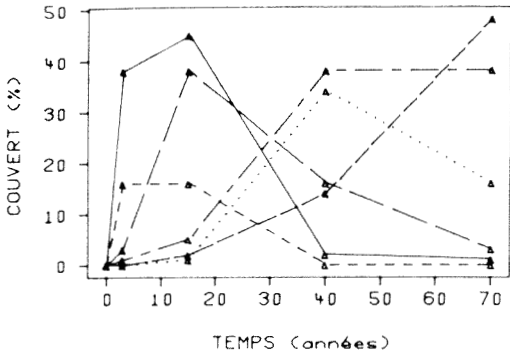


Figure 1. Couvert des espèces ligneuses. Les données d'observation sont représentées par les triangles et les interpolations par les traits suivants : cerisier de Pennsylvanie ———; framboisier - - - - -; érable rouge ———; bouleau jaune - - - - -; hêtre à grandes feuilles ———; érable à sucre . . . . .

gaulis et le perchis évoluent certainement vers une érablière à bouleau jaune. Quant à la futaie, elle évolue vers une érablière à bouleau jaune et hêtre, ou possiblement vers une hêtraie, ces deux groupements présentent toutefois une physionomie semblable à celle de l'érablière à bouleau jaune.

Les mesures des pourcentages de couvert des six principales espèces ligneuses sont représentées sur graphique aux années 0, 3, 15, 40 et 70, avec interpolation linéaire (fig. 1). Les courbes du cerisier de Pennsylvanie, du framboisier et de l'érable rouge sont caractéristiques des espèces pionnières: très fort couvert jusqu'à une vingtaine d'années, puis déclin raide chez les deux premières espèces et plus modéré chez l'érable rouge lorsque le couvert forestier

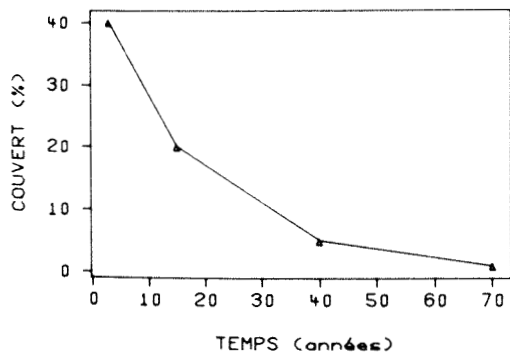


Figure 3. Couvert des branches et arbres morts au sol. Les données d'observation sont représentées par les triangles et les interpolations par le trait continu.

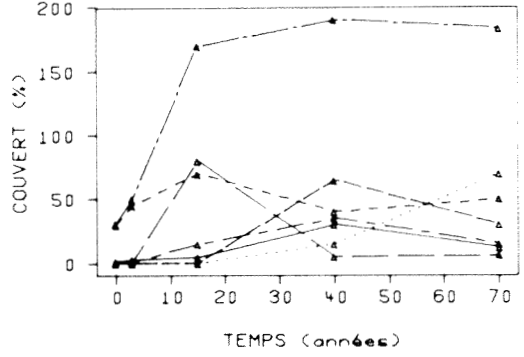


Figure 2. Couvert des strates végétales. Les données d'observation sont représentées par les triangles et les interpolations par les traits suivants: strate herbacée ———; strate arbustive basse - - - - -; strate arbustive haute ———; strate arborée basse - - - - -; strate arborée moyenne ———; strate arborée haute . . . . .; somme de toutes les strates - - - - -.

se ferme. Le bouleau jaune et l'érable à sucre indiquent bien que l'on est en présence d'une érablière à bouleau jaune jusqu'à l'âge de 50 ans où le hêtre à grandes feuilles prend graduellement plus d'importance aux dépens de l'érable à sucre.

Le couvert des strates végétales aux mêmes années d'observation est présenté de la même façon, avec en plus la sommation du couvert de toutes les strates (fig. 2). Ce sont les strates arbustives haute et basse qui

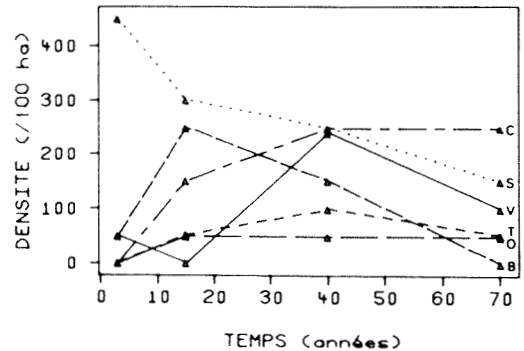


Figure 4. Densité des groupes d'espèces aviennes. Les données d'observation sont représentées par les triangles et les interpolations par les traits suivants: Groupe V: insectivores qui se nourrissent au vol ———; Groupe T: insectivores qui se nourrissent sur les troncs - - - - -; Groupe O: omnivores qui se nourrissent en différents endroits ———; Groupe C: insectivores qui se nourrissent au niveau de la strate arborescente - - - - -; Groupe B: insectivores qui se nourrissent au niveau de la strate arbustive ———; Groupe S: espèces qui se nourrissent au niveau du sol . . . . .

présentent le plus grand couvert jusque vers 20 ans, la strate arborée moyenne vers 40 ans et les strates arborée haute, arbustive basse et arborée moyenne vers 70 ans. Le pourcentage de couvert des branches et arbres morts au sol décline rapidement (fig. 3); le fort recouvrement de débris dans le taillis est dû à l'origine de coupe de ce peuplement.

### Faune avienne

La liste des espèces aviennes recensées, leurs niches stratigraphiques d'alimentation et leurs densités dans les différents peuplements sont présentées au tableau I. La densité des populations aviennes regroupées en niches stratigraphiques d'alimentation révèle une nette prédominance du groupe S au début de la succession, la végétation n'of-

TABLEAU I  
Densité des espèces aviennes recensées

Nom scientifique	Niche stratigraphique d'alimentation	Taillis	Gaulis	Perchis	Futaie
<b>TROCHILIDAE</b>					
<i>Archilochus colubris</i>	B	•	2	•	•
<b>PICIDAE</b>					
<i>Colaptes auratus</i>	T	•	2	•	•
<i>Sphyrapicus varius</i>	T	•	•	2	2
<b>TYRANNIDAE</b>					
<i>Empidonax minimus</i>	V	•	•	10	4
<i>Nuttallornis borealis</i>	V	2	•	•	•
<b>CORVIDAE</b>					
<i>Cyanocitta cristata</i>	O	•	2	•	•
<b>SITTIDAE</b>					
<i>Sitta canadensis</i>	T	•	•	2	•
<b>TURDIDAE</b>					
<i>Turdus migratorius</i>	B	2	•	2	•
<i>Hylocichla guttata</i>	S	•	•	2	•
<i>Hylocichla ustulata</i>	S	2	•	•	•
<i>Hylocichla fuscescens</i>	S	+ <sup>1</sup>	10	2	•
<b>VIREONIDAE</b>					
<i>Vireo solitarius</i>	C	+	•	•	•
<i>Vireo olivaceus</i>	C	•	2	6	8
<b>PARULIDAE</b>					
<i>Vermivora ruficapilla</i>	B	+	•	•	•
<i>Dendroica magnolia</i>	B	+	2	•	•
<i>Dendroica caerulescens</i>	B	•	2	2	•
<i>Dendroica virens</i>	C	•	•	•	2
<i>Dendroica fusca</i>	C	•	•	2	•
<i>Dendroica pensylvanica</i>	B	+	•	•	•
<i>Seiurus aurocapillus</i>	S	•	•	6	6
<i>Oporornis philadelphia</i>	B	+	•	•	•
<i>Wilsonia canadensis</i>	B	•	4	2	•
<b>FRINGILLIDAE</b>					
<i>Pheucticus ludovicianus</i>	C	+	4	2	•
<i>Carpodacus purpureus</i>	O	•	•	2	2
<i>Junco hyemalis</i>	S	2	•	•	•
<i>Zonotrichia albicollis</i>	S	12	2	•	•
<i>Melospiza lincolni</i>	S	2	•	•	•
<b>TOTAL DES ESPÈCES (4 ha)</b>		13	10	13	6
<b>TOTAL DES ESPÈCES DÉNOMBRÉES (4 ha)</b>		6	10	13	6
<b>TOTAL DES INDIVIDUS (4 ha)</b>		22	32	42	24
<b>TOTAL DES INDIVIDUS (100 ha)</b>		550	800	1050	600

<sup>1</sup> + signifie présent.

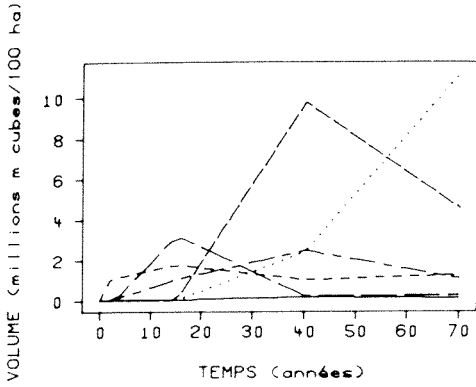


Figure 5. Volume foliaire des strates végétales. Les estimations sont représentées par les traits suivants: strate herbacée —; strate arbustive basse ·····; strate arbustive haute — — —; strate arborée basse - - -; strate arborée moyenne — · —; strate arborée haute ·····.

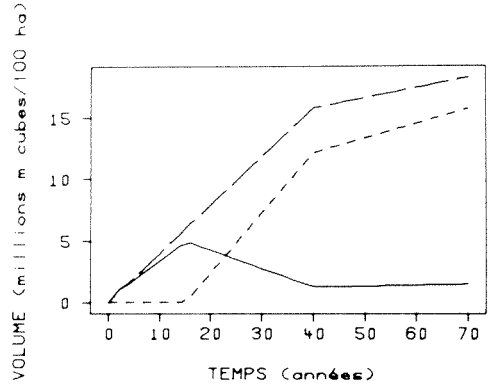


Figure 6. Volume foliaire de regroupements de strates végétales. Les estimations sont représentées par les traits suivants: somme des strates arbustives basse et haute —; somme des strates arborées moyenne et haute ·····; somme des strates arbustives et arborées —.

frant pas les conditions nécessaires à l'établissement d'espèces des autres niches stratigraphiques d'alimentation (fig. 4). Vers la 15<sup>e</sup> année, ce groupe domine toujours suivi de près par les groupes B et C. Entre les années 15 et 40, alors que la diversité végétale devrait être maximale (Horn, 1974), le groupe B est en déclin tandis que les groupes C et T augmentent; le groupe V atteint son maximum à 40 ans alors que les arbres hauts sont bien espacés. Le groupe C prédomine à 70 ans alors que S, V et B sont en baisse rapide, laissant supposer que le peuplement a atteint sa maturité. Seul le groupe O se maintient à une densité à peu près constante tout au long de la succession.

20 ans, les arbres qui appartenaient à la strate arborée basse appartiennent désormais à la strate arborée moyenne.

Puisque les oiseaux des diverses niches stratigraphiques d'alimentation ne dépendent pas toujours d'une seule strate végétale, nous avons compilé les sommations des volumes foliaires des strates pertinentes: les strates arbustives basse et haute dont dépend le groupe B, les strates arborées moyenne et haute pour le groupe V et les strates arbustives (basse et haute) et arborées (basse, moyenne et haute) pour le groupe C (fig. 6). L'estimation de la surface extérieure des troncs, utilisée par le groupe T, se trouve à la figure 7.

SIMULATION

Physionomie de la végétation

À partir des données d'observation et de leur interpolation présentées aux figures 1, 2 et 3, nous avons simulé le volume foliaire de chaque strate végétale (fig. 5). Par comparaison aux strates ligneuses, la strate herbacée présente un volume foliaire négligeable. Comme il fallait s'y attendre, c'est la strate arbustive basse qui forme le plus grand volume foliaire avant 10 ans, la strate arbustive haute entre 10 et 20 ans, l'arborée moyenne entre 20 et 55 ans et l'arborée haute par la suite. La strate arborée basse ne produit en aucun cas le plus grand volume foliaire du peuplement. En effet, avant 20 ans, les strates arbustives ont un plus grand volume foliaire que la strate arborée basse et, après

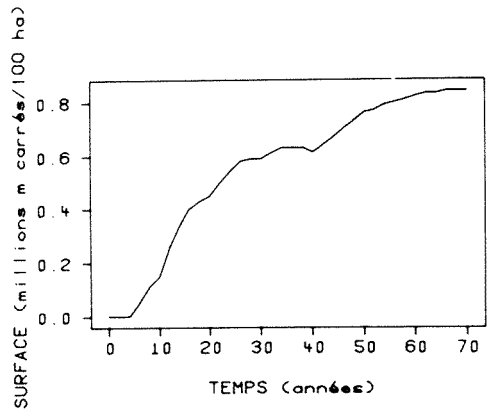


Figure 7. Surface extérieure des troncs des espèces ligneuses. Les estimations sont représentées par le trait continu.

### Réponse des espèces aviennes

Les relations fonctionnelles exprimant la densité des groupes d'oiseaux en fonction de la physionomie végétale apparaissent à la figure 8. Ces courbes sont strictement empiriques. Nous avons exprimé la majorité de ces relations sous forme linéaire, avec des seuils quand les observations le préconisaient. Intuitivement, l'augmentation de la densité d'un groupe d'oiseaux doit suivre le paramètre physionomique le plus perçu par ce groupe, que ce soit le couvert, le volume foliaire ou la surface des troncs. Il est évident que la densité doit plafonner à une valeur déterminée par la quantité de ressources du milieu, valeur dite capacité de support. Il y a trois types de courbes qui expriment ce comportement: une augmentation linéaire avec seuil, bien que ce seuil ne soit pas toujours perçu dans les limites de nos observations (fig. 8 a, e, f); une courbe logistique, caractéristique de la dynamique des populations à générations continues où un mécanisme de feedback négatif, la diminution des ressources par exemple, se fait sentir progressivement (fig. 8 b, c); et enfin la « disk equation » de Holling (1959) qui est une fonction de saturation sans le point d'inflexion typique de la courbe logistique (fig. 8 d).

### Simulation de la densité des espèces aviennes

Pour comparer la simulation aux observations de densité de la figure 4, cette dernière est reproduite à la figure 9 a, et les résultats de la simulation de la densité des espèces aviennes basée sur la réponse des oiseaux à la végétation selon notre modèle sont présentés à la figure 9 b.

La densité du groupe V à l'année 3 est plus faible dans la simulation que dans les observations; ceci s'explique par le fait que ces insectivores se nourrissent au vol et certaines observations dans le taillis ont pu porter fautiveusement sur des oiseaux appartenant à des territoires adjacents ou chevauchant la bordure de nos parcelles (Roth, 1976). Après 40 ans, nous avons observé une baisse de ce groupe (fig. 9 a) tandis que la courbe simulée demeure à peu près stable (fig. 9 b) puisque notre postulat (fig. 8 a) pose que la densité de ce groupe se stabilise quand le volume foliaire des strates arborées moyenne et haute dépasse 12 millions  $m^3/100$  ha. Nous croyons toujours que ce postulat soit raisonnable bien que la distribution sporadique des ouvertures dans le couvert

de la forêt mature puisse expliquer la baisse observée. La courbe simulée du groupe T colle très bien aux observations quoique la simulation stabilise la densité du groupe après 40 ans alors que les observations montrent une très légère baisse. La simulation du groupe O donne des résultats identiques aux observations parce que ce groupe se stabilise très tôt à une densité très faible, ce qui augmente le pourcentage d'erreur aussi bien dans nos observations que dans notre estimation du plafonnement de la densité autour de 50 individus/100 ha (fig. 8 c). La courbe simulée pour le groupe C est parfaitement conforme aux observations, ce qui supporte notre postulat (fig. 8 d) de l'utilisation par ce groupe de la strate arbustive en plus de la strate arborée. La simulation du groupe B donne une densité plus faible qu'observée vers l'année 40 et plus forte vers l'année 70; notre postulat d'augmentation strictement linéaire (fig. 8 e) de la densité suivant le volume foliaire des strates arbustives en est responsable, puisque ce volume diminue de la 15<sup>e</sup> à la 40<sup>e</sup> année pour demeurer stable par la suite (fig. 6). Finalement, les valeurs simulées pour le groupe S sont excellentes même si légèrement inférieures à celles observées autour de 40 ans.

Dans l'ensemble, la figure 9 révèle une très bonne adéquation de la simulation aux observations. La densité simulée des groupes d'oiseaux est très réaliste pour tous les groupes et toutes les années de simulation. Les deux écarts les plus marqués touchent les groupes B et V entre la 40<sup>e</sup> et la 70<sup>e</sup> année, et plus particulièrement la baisse observée chez ces groupes dans la futaie de 70 ans. Il peut s'agir soit d'une erreur d'échantillonnage due aux effets de bordure, étant donné la dimension réduite de nos parcelles, ou à la dégradation de l'érablière en hêtraie, ce qui en modifie légèrement la physionomie; soit d'une faiblesse de nos postulats pour ces deux groupes qui auraient dû engendrer un déclin passé la 40<sup>e</sup> année.

### Conclusion

La densité des groupes d'oiseaux classés en niches stratigraphiques d'alimentation répond très fidèlement aux changements observés dans la physionomie de la végétation forestière sur une période de 70 ans du début d'une succession secondaire. Le concept de niche stratigraphique d'alimentation s'avère donc très utile puisqu'il relie d'une façon fonctionnelle la composition des com-

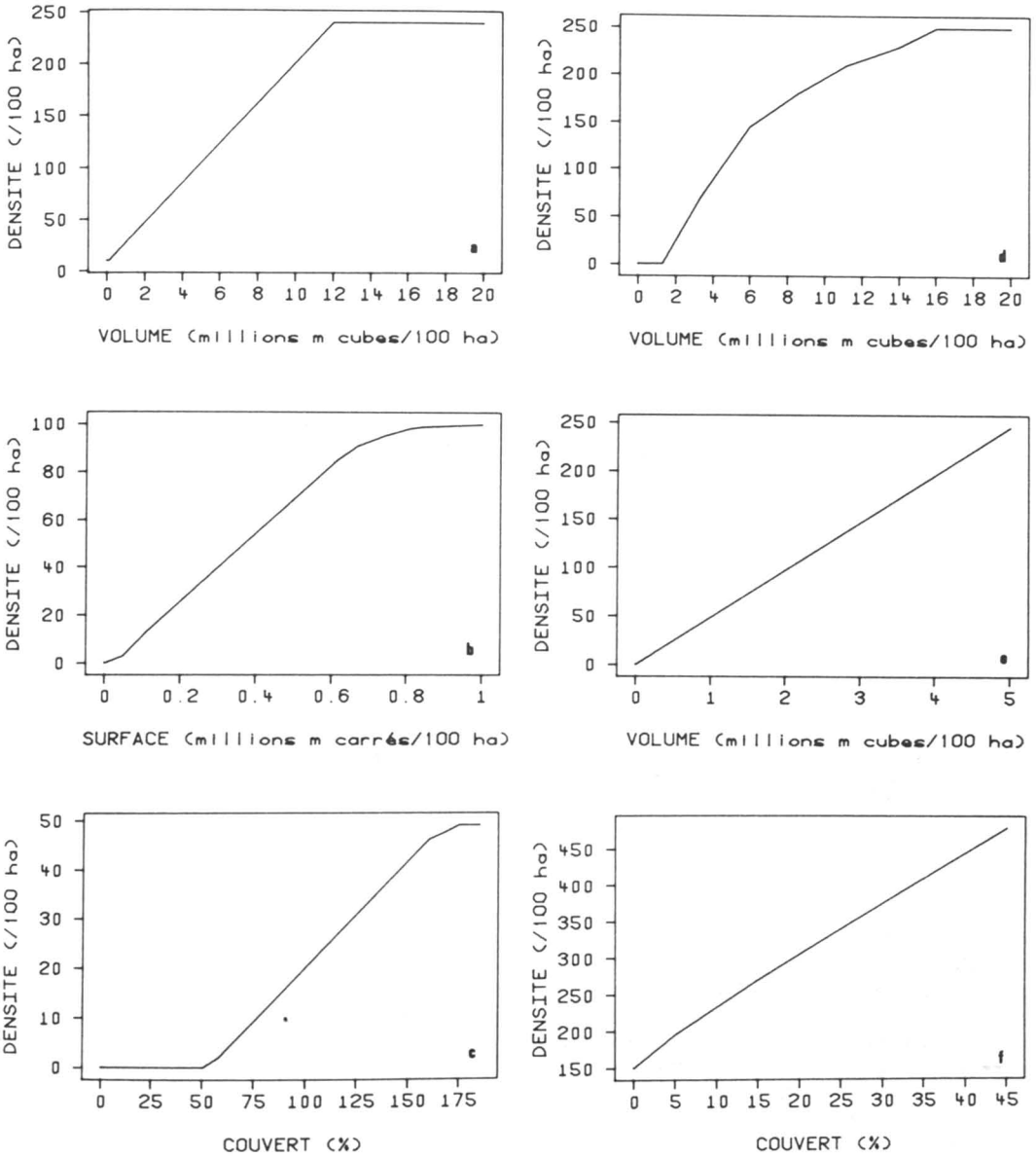


Figure 8. Relations fonctionnelles empiriques entre les groupes d'espèces aviennes et les paramètres physiologiques de la végétation. a. Densité du groupe V en fonction de la somme des volumes foliaires des strates arborées moyenne et haute. b. Densité du groupe T en fonction de la surface extérieure des troncs des espèces ligneuses. c. Densité du groupe O en fonction de la somme des couverts de toutes les strates. d. Densité du groupe C en fonction de la somme des volumes foliaires des strates arbustives et arborées. e. Densité du groupe B en fonction de la somme des volumes foliaires des strates arbustives basse et haute. f. Densité du groupe S en fonction du couvert des branches et arbres morts au sol.

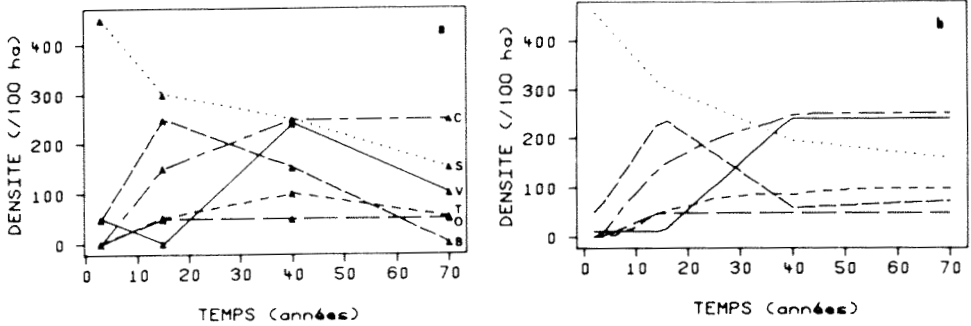


Figure 9. Comparaison du modèle de simulation aux observations de la densité des groupes d'espèces aviennes. a. Observations. Les données d'observations sont représentées par les triangles et les interpolations par les traits suivants: Groupe V ———; groupe T - - - - -; groupe O — · — ·; groupe C - - - - -; groupe B - - - - -; groupe S ······. b. Simulations. La densité a été simulée à chaque année. Les mêmes traits que pour les observations servent à identifier les groupes.

munautés aviennes à l'un des principaux paramètres de leur milieu, la physionomie de la végétation. La capacité de reproduire par simulation la réponse des oiseaux permettrait de prévoir le potentiel faunique avien lors de l'aménagement de sites forestiers ou récréatifs et de corridors de service routier ou de transport d'énergie.

Le modèle présenté repose sur des postulats empiriques et met en lumière le potentiel immense de la simulation numérique *a priori* pour générer des hypothèses de travail. De plus, le modèle démontre que les postulats que nous avons posés sont plausibles et peuvent effectivement représenter les relations fonctionnelles décrivant la réponse de la faune avienne à la physionomie de la végétation. Le modèle suggère donc de vérifier, à l'aide d'un dispositif expérimental approprié, si différents groupements végétaux à physionomie similaire supportent la même densité d'oiseaux des mêmes niches stratigraphiques d'alimentation. Nous croyons que cette approche expérimentale pourrait préciser les mécanismes écologiques de la dynamique de ces communautés.

### Remerciements

Nous tenons à remercier MM. Jean-Luc DesGranges et Pierre Laporte, du Service canadien de la faune, Harvey L. Mead, du Champlain Regional College, et Louis Fortin, du Collège de Lévis, pour avoir accepté de relire et critiquer le manuscrit.

### Références

- ANDERSON, B.W. & R.D. OHMART, 1980. Designing and developing a predictive model and testing a revegetated riparian community for southwestern birds. — Pages 434-450 in R.M. DeGraff & N.G. Tilghman (eds.). Management of western forests for nongame birds. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rept. INT-86. 535 p.
- AUSTIN, D.D. & M.L. PERRY, 1979. Birds in six communities within a lodgepole pine forest. — J. For., 77: 584-586.
- BELLEFLEUR, P., 1981. Markov models of forest-type secondary succession in coastal British Columbia. — Can. J. For. Res., 11: 18-29.
- BLONDEL, J., 1969. Méthodes de dénombrement des populations d'oiseaux. — Pages 95-151 in M. Lamotte & F. Bourlière (éds.). Problèmes d'écologie: l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres. Masson, Paris, 304 p.
- BLONDEL, J., 1975. L'analyse des peuplements d'oiseaux, éléments d'un diagnostic écologique. I. La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.). — Terre Vie-Rev. Ecol. appl., 29: 533-589.
- BLONDEL, J., C. FERRY & B. FROCHOT, 1973. Avifaune et végétation: essai d'analyse de la diversité. — Alauda, 41: 63-84.
- BOAG, D.A., 1976. The effect of shrub removal on occupancy of ruffed grouse drumming sites. — J. Wildl. Mgmt, 40: 105-110.
- CONNELL, J.H. & R.O. SLATYER, 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. — Am. Nat., 111: 1119-1144.
- CONNER, R.N. & C.S. ADKISSON, 1975. Effects of clearcutting on the diversity of breeding birds. — J. For., 73: 781-785.

- CONNER, R.N., R.G. HOOPER, H.S. CRAWFORD & H.S. MOSBY, 1975. Woodpecker nesting habitat in cut and uncut woodlands in Virginia. — *J. Wildl. Mgmt*, 39: 144-150.
- CONNOR, E.F. & D. SIMBERLOFF, 1979. The assembly of species communities: chance or competition? — *Ecology*, 60: 1132-1140.
- DESGRANGES, J.L., 1980. Des communautés aviennes du Parc national de la Mauricie, Québec. — *Publ. hors-série n° 41, Serv. can. faune, Sainte-Foy*, 34 p.
- DIAMOND, J.M., 1975. Assembly of species communities. — Pages 342-444 in M.L. Cody & J.M. Diamond (eds.). *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 545 p.
- ERSKINE, A.J., 1977. Birds in boreal Canada: Communities, densities and adaptations. — *Can. Wildl. Serv. Rept. Series no. 41*, 71 p.
- FERLAND, M.G. & R.M. GAGNON, 1974. Climat du Québec méridional. — *Serv. météo., Min. Rich. nat. Québec*, 93 p.
- FRANZEB, K.E., 1977. Bird population changes after timber harvesting of a mixed conifer forest in Arizona. — *USDA For. Serv. Res. Pap. RM-184*, 26 p.
- GAGNON, G. & G. MARCOTTE, 1980. Description des types écologiques et de leur productivité dans la section forestière laurentienne de Rowe (L-4a). — *Serv. rech. for., Min. Énerg. Ressourc. Québec, Mém. n° 61*, 456 p.
- GEIBERT, E.H., 1980. Songbird diversity along an urban powerline right-of-way in Rhode Island. — *Environ. Mgmt*, 4: 205-213.
- HILDEN, O., 1965. Habitat selection in birds. — *Ann. Zool. Fennici*, 2: 53-75.
- HOCHBAUM, G.S. & F.D. CASWELL, 1979. Perspectives de l'évolution démographique à long terme des effectifs du canard malard nichant dans les Prairies canadiennes. — *Serv. can. faune, Cahier de biologie n° 90*, 9 p.
- HOLLING, C.S., 1959. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly. — *Can. Ent.*, 91: 293-320.
- HORN, H.S., 1974. The ecology of secondary succession. — *A. Rev. Ecol. Syst.*, 5: 25-37.
- HORN, H.S., 1975. Forest succession. — *Sci. Am.*, 232: 90-98.
- HORN, H.S., 1976. Succession. — Pages 187-204 in R.M. May (ed.). *Theoretical ecology. Principles and applications*. W.B. Saunders Co., Philadelphia, PA., 317 p.
- KARR, J.R. & R.R. ROTH, 1971. Vegetation structure and avian diversity in several New World areas. — *Am. Nat.*, 105: 423-435.
- KENDEIGH, S.C., 1945. Community selection by birds on the Helderberg Plateau of New York. — *Auk*, 62: 418-436.
- KROLL, J.C., 1980. Habitat requirements of the golden-cheeked warbler: management implications. — *J. Range Mgmt*, 33: 60-65.
- LERUTH, Y., 1976. Relations entre la physionomie végétale et la répartition spatiale des populations post-nuptiales d'oiseaux forestiers. — *Terre Vie-Rev. Ecol. appl.*, 31: 177-224.
- MACARTHUR, R.H., 1964. Environmental factors affecting species diversity. — *Am. Nat.*, 98: 387-397.
- MACARTHUR, R.H. & J.W. MACARTHUR, 1961. On bird species diversity. — *Ecology*, 42: 594-598.
- MARCOT, B.G., 1980. Use of a habitat/niche model for old growth management: a preliminary discussion. — Pages 390-402 in R.M. DeGraff & N.G. Tilghman (eds.). *Management of western forests and grasslands for nongame birds*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rept. INT-86, 535 p.
- MILLER, R.S., G.S. HOCHBAUM & D.M. BOTKIN, 1972. A simulation model for the management of sandhill cranes. — *Yale Univ., School of forestry and environmental studies, Bull. no. 80*, 49 p.
- MORSE, D.H., 1976. Variables affecting the density and territory size of breeding spruce-woods warblers. — *Ecology*, 57: 290-301.
- NICHOLS, J.D., G.L. HENSLER & P.W. SYKES, Jr., 1980. Demography of the Everglade kite: Implications for population management. — *Ecol. Model.*, 9: 215-232.
- PAYETTE, S. & B. GAUTHIER, 1972. Les structures de la végétation: interprétation géographique et écologique, classification et application. — *Naturaliste can.*, 99: 1-26.
- PLONSKY, W.L., 1960. Normal yield tables (for black spruce, jack pine, aspen, etc.). — *Ontario Dept. Lands & Forests, Sylvic. Ser. Bull. no. 2*, 39 p.
- POUGH, R.H., 1950. Comment faire un recensement d'oiseaux nicheurs? — *Terre Vie-Rev. Ecol. appl.*, 4: 203-217.
- RAYMOND, R., G. LAFLAMME & G. GODBOUT, 1976. Pédologie du comté de Portneuf. — *Min. agric. Québec, Bull. tech. n° 18*, 164 p.
- RECHER, H.F., 1969. Bird species diversity and habitat diversity in Australia and North America. — *Am. Nat.*, 103: 75-79.
- RITCHOT, G., 1964. Problèmes morphologiques du Québec méridional: Les Laurentides. — *Revue Géogr. Montréal*, 17: 137-234.
- ROTH, R.R., 1976. Spatial heterogeneity and bird species diversity. — *Ecology*, 57: 773-782.
- SHUGART, H.H., Jr & D. JAMES, 1973. Ecological succession of breeding bird populations in northwestern Arkansas. — *Auk*, 90: 62-77.
- SHUGART, H.H., Jr, T.R. CROW & J.M. HETT, 1973. Forest succession models: a rationale and methodology for modelling forest succession over large regions. — *For. Sci.*, 19: 203-212.

- STILES, E.W., 1980. Bird community structure in alder forests in Washington. — *Condor*, 82: 20-30.
- SVENSSON, S. (ed.), 1970. Bird census work and environmental monitoring. — *Proc. Symposium*, Ammarnäs, 1969. Univ. Lund (Sweden), 52 p.
- THOMPSON, W.A. & I. VERTINSKY, 1975. Application of Markov chains to analysis of a simulation of bird's foraging. — *J. theor. Biol.*, 53: 285-307.
- VAN HULST, R., 1978. On the dynamics of vegetation: patterns of environmental and vegetation change. — *Vegetatio*, 38: 65-75.
- VILLENEUVE, G.O., 1967. Sommaire climatique du Québec. — *Serv. météo., Min. Rich. nat. Québec*, 168 p.
- VOORHEES, L.D. & J.F. CASSEL, 1980. Highway right-of-way: mowing versus succession as related to duck nesting. — *J. Wildl. Mgmt.*, 44: 155-163.
- WHITTAKER, R.H., S.A. LEVIN & R.B. ROOT, 1973. Niche, habitat and ecotope. — *Am. Nat.*, 107: 321-338.



## A COMPARISON OF THE NORTHERN LIMITS OF DISTRIBUTION OF SOME VASCULAR PLANT SPECIES FOUND IN SOUTHERN ONTARIO

W.J. CODY

Biosystematics Research Institute, Agriculture Canada,  
Ottawa, Ontario K1A 0C6

### Résumé

L'auteur décrit et compare la répartition géographique et les habitats de 33 espèces de plantes vasculaires (appartenant à 23 familles) qui sont absentes à divers degrés au nord du lac Ontario. Il semble que les patrons de répartition ne reflètent pas nécessairement des voies de migration, mais qu'ils présentent plutôt une corrélation avec les conditions climatiques actuelles, par exemple la période moyenne annuelle sans gel, le début ou la fin de la saison de croissance, etc.

### Abstract

The distributions of 33 vascular plant species representing 23 families, which are absent to varying degrees north of Lake Ontario, are described and compared, and their habitat preferences are correlated. It is suggested that the distribution patterns displayed, do not necessarily demonstrate migration routes into Ontario, but appear to have a correlation to present day climatic conditions, e.g. mean annual "frost free" period, the start or ending of the growing season, etc.

### Introduction

During the summer of 1975, as a part of a larger biological study of St. Lawrence Islands National Park conducted by the staff of the Biosystematics Research Institute, some 1,400 collections of vascular plants were made from the various islands and adjacent mainland. These collections and those of earlier botanists, particularly at the Department of Agriculture, Ottawa and Queens University, Kingston, were examined in detail. An analysis of the island floras (McNeill & Cody, 1978) showed that the St. Lawrence islands appear floristically as segments of a continental area, with isolation playing little or no part in determining species composition.

However, the distributions in Ontario of some of the species found in St. Lawrence Islands National Park or elsewhere in eastern Ontario, are of considerable interest. In particular, are some species, representing 23 families, which are absent to a greater or lesser degree north of Lake Ontario. This pattern of distribution is also found in the animal kingdom. The black rat snake [*Elaphe obsoleta* (Say)] is found in the Carolinian zone and again in the Thousand Islands region of the upper St. Lawrence River,

extending northward about 60 km (pers. comm., F.R. Cook). Also, the spiny softshell turtle (*Trionyx spiniferus* Le Sueur) is in the Carolinian zone, but is then unknown eastward until it reappears in the Ottawa and Richelieu river valleys (personal communication, F.R. Cook). The plant species which are discussed below are not restricted to any one particular habitat, but rather a number of habitats, e.g. muddy river shores, clearings, rich woods and rocky pavements.

The work reported here complements the studies of Fox & Soper (1952, 1953, 1954) who discussed the ranges of some trees and shrubs found in the Carolinian zone of Southern Ontario, and Soper (1955, 1962) who examined the ranges of other vascular plant species found in that area.

St. Lawrence National Park lies in what Rowe (1972) has described as the Middle Ottawa Section of the Great Lakes — St. Lawrence Forest Region. The zone is characterized by sugar maple (*Acer saccharum*), beech (*Fagus grandifolia*), yellow birch (*Betula alleghaniensis*), red maple (*Acer rubrum*), eastern hemlock (*Tsuga canadensis*), eastern white pine (*Pinus strobus*), and red pine (*Pinus resinosa*) in the uplands, with varying amounts of white birch (*Betula*

*papyrifera*), red oak (*Quercus rubra*), basswood (*Tilia americana*), white spruce (*Picea glauca*), balsam fir (*Abies balsamea*) and trembling aspen (*Populus tremuloides*). Throughout this zone are hardwood and mixed-wood swampy areas in which eastern white cedar (*Thuja occidentalis*), tamarack (*Larix laricina*), black spruce (*Picea mariana*), black ash (*Fraxinus nigra*), and white elm (*Ulmus americana*) are found.

In this zone too are some elements which are distinctly southern in range, and not characteristic of it. Among these are bitter-nut (*Juglans cinerea*), bitternut hickory (*Carya cordiformis*), bur oak (*Quercus macrocarpa*), white ash (*Fraxinus americana*), and black cherry (*Prunus serotina*).

Adjacent to the St. Lawrence River, there are, in addition to most of the broad ranging trees and the southern elements mentioned above, several other tree species which either become rare northward or are at their northern limit, although they are quite common there, and sometimes form large stands. Among these are shagbark hickory (*Carya ovata*), pitch pine (*Pinus rigida*), eastern red cedar (*Juniperus virginiana*) and swamp white oak (*Quercus bicolor*). This zone might thus better be treated as a northern extension of a more southern forest type, and is thus of considerable interest. It is indeed, the only place in Canada, with the exception of a few small stands in southwestern Québec, where *Pinus rigida* is known to occur.

In the preparation of the maps of the species treated in this paper, specimens were examined and determinations confirmed in the following herbaria: CAN, DAO, OAC, QK, HAM and TRT (acronyms according to Holmgren & Keuken, 1974).

### Distribution of species

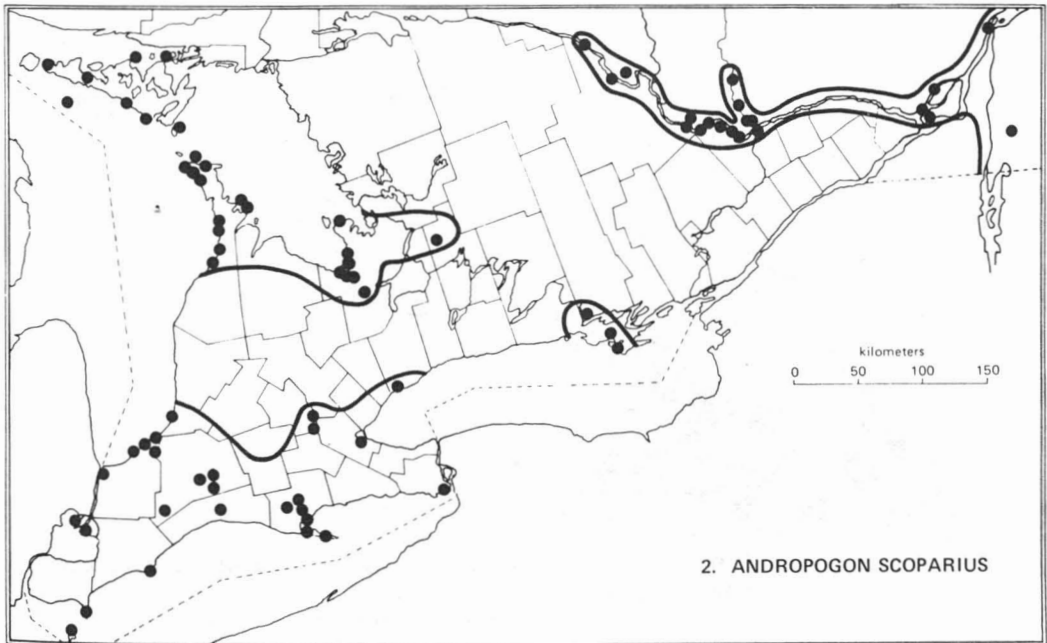
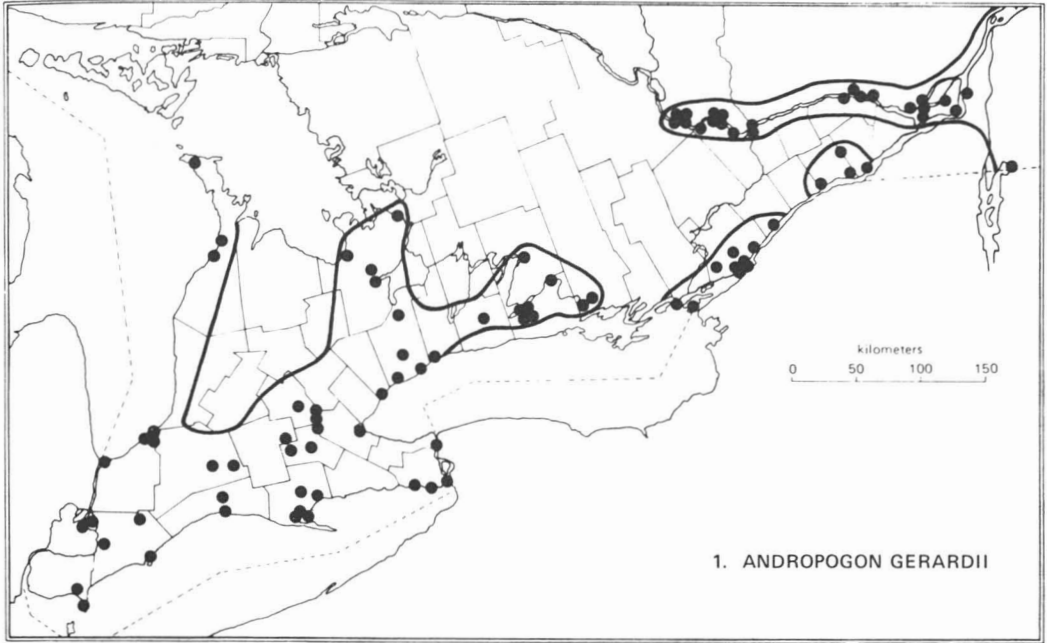
*Andropogon gerardii* Vitman (Map 1) — As pointed out by Dore & McNeill (1980), this grass is absent from the sand hills along the Lake Ontario shore, and thus there is a break in the stations adjacent to the St. Lawrence River from those in Hastings County and westward in Ontario. The Ottawa River stations appear to be contiguous with stations along the St. Lawrence River below Montréal (Rousseau, 1974). Elsewhere in Ontario *A. gerardii* occurs in the Rainy River area, on the Kenogami River at 50°16'N, 84°48'W, and on the Albany River at 51°13'N, 84°22'W. In Ontario it occurs along river and lake shores, but also on dry sand plains

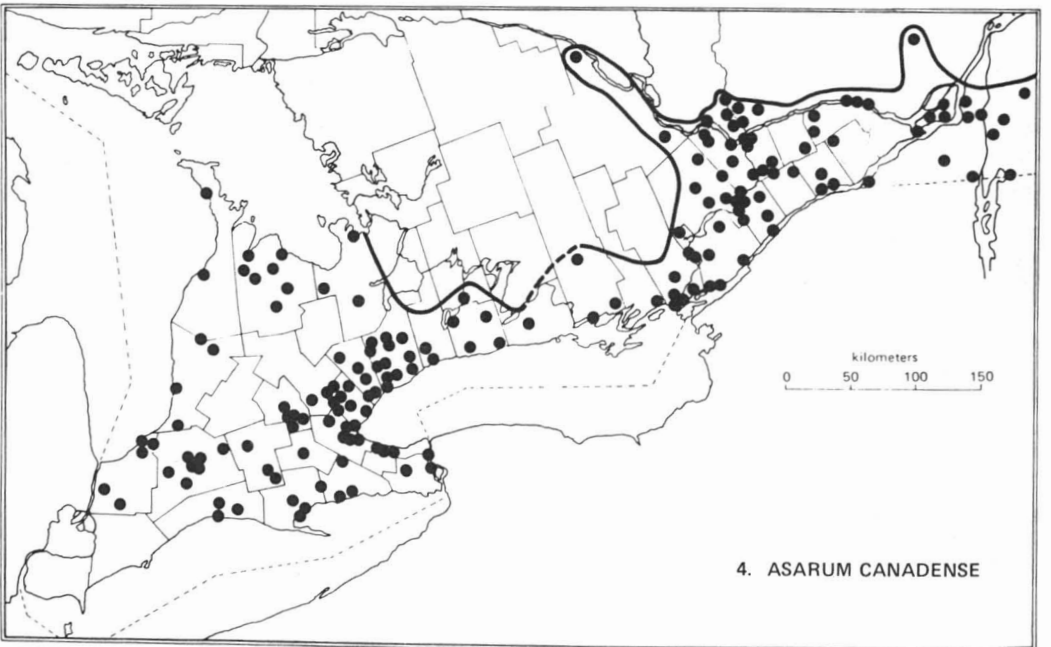
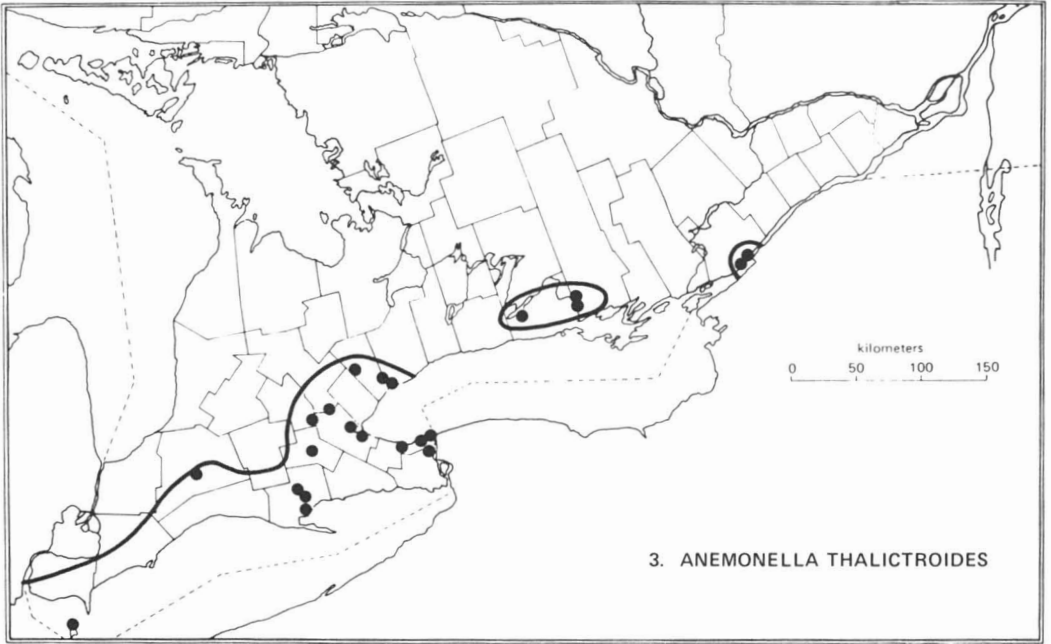
and moranic hills. According to Dore & McNeill (1980) this a characteristic species of the tall grass prairie of the midwestern United States. It occurs as far south as Florida, Wyoming, Utah and Arizona, and in Canada from Québec to Saskatchewan.

*Andropogon scoparius* Michx. (Map 2) — Ontario collections of this species are from four widely separated regions: the Carolinian zone, an area about Georgian Bay including Manitoulin Island and the Bruce Peninsula, Prince Edward County and immediately north, and an area adjacent to the Ottawa River which extends into Québec in a pattern similar to that of *A. gerardii* (Rousseau, 1974). It is absent from the upper St. Lawrence and the Thousand Islands but the map is included here because of similarities in range in other parts of southern Ontario. According to Dore & McNeill (1980) *A. scoparius* is a characteristic grass of native prairie to the southwest in the United States. In Ontario it is found largely on sand dunes and dry rocky shores.

*Anemonella thalictroides* (L.) Spach (*Thalicttrum thalictroides* (L.) Boivin (Map 3) — The North American distribution of *A. thalictroides* was discussed by Soper *et al.* (1963). It is found in more or less dry open woodlands from Maine and New Hampshire south to Georgia and westward to Minnesota, Iowa, Kansas and Oklahoma. In Ontario most of the collections are from or close to the Carolinian zone (Fox & Soper, 1954). There is however, in addition, an interesting intrusion at Mallorytown Landing in Leeds County which seems to be disjunct from colonies in adjacent New York State by some 85 miles. Here it occurs in dry more-or-less open woodland characterized by large trees of *Pinus*, *Quercus*, *Carya*, *Acer* and *Juniperus*. The possible reasons for its isolation here are discussed by Soper *et al.* (1963). Of greater interest still however are collections from Northumberland County (*Catling et al.*), 2 miles east of Harwood, 30 May 1974 (TRT, CAN) and Hastings County (Sidney Twp., Conc. 8, lot 19, *Heimbürger*, June 1963 (TRT); 1.25 mi N of Frankford, *Haber*, 1 June 1966 (CAN)). These collections were made after the paper by Soper *et al.* (1963) was written. Whether this now isolated area was colonized from the east, the west, or from the south across Prince Edward County, or by some other means is a matter of speculation.

*Asarum canadense* L. (Map 4) — This species is found in rich woods across much of southern Ontario. North of Lake Ontario however there are relatively few collections





and it is possible that there is a break in distribution thus suggesting invasions from around both the east and west ends of Lake Ontario. It is interesting to note that no collections have been seen from Kent and Essex counties in the extreme southwest of the province, but it is known in northern Ontario from the districts of Thunder Bay and Rainy River, indicating an invasion around the west end of Lake Superior, as well as a seemingly isolated region at Lake Temiscaming in Temiscaming District. This latter population can probably be related to the tongue which extends up the Ottawa Valley. A map of the distribution in southern Québec is given by Rousseau (1974). The species also occurs in New Brunswick and southeastern Manitoba. In the United States *A. canadense* occurs from Vermont to Minnesota south to North Carolina, Tennessee, Missouri and Kansas (Fernald, 1950).

*Asclepias exaltata* L. (Map 5) — Like *Anemonella thalictroides*, this species appears to occur in an isolated area north of Lake Ontario in Northumberland and Hastings counties, and the area which includes the Carolinian zone is roughly the same. In the eastern part of the province the area covered is however, more extensive, and there is an isolated collection from the southern end of Georgian Bay. Another seemingly isolated local at St-Hilaire, Québec, has recently been reported (Mauffette, 1981). *Asclepias exaltata* occurs in the United States from Maine to Minnesota south to Georgia, Kentucky and Illinois (Fernald, 1950). It is a species of rich woodlands.

*Carya cordiformis* (Wang.) K. Koch (Map 6) — A map of the North American distribution of this species is given by Little (1971). In the United States it is found from southwestern New Hampshire and Massachusetts south to northern Florida and west to Minnesota and Texas. In Ontario, it is found in and north of the Carolinian zone, an area north of Prince Edward County, and a triangle in eastern Ontario lying north of the St. Lawrence River up to and including the valley of the Ottawa River. Rousseau (1974) has a map depicting the distribution in southwestern Québec.

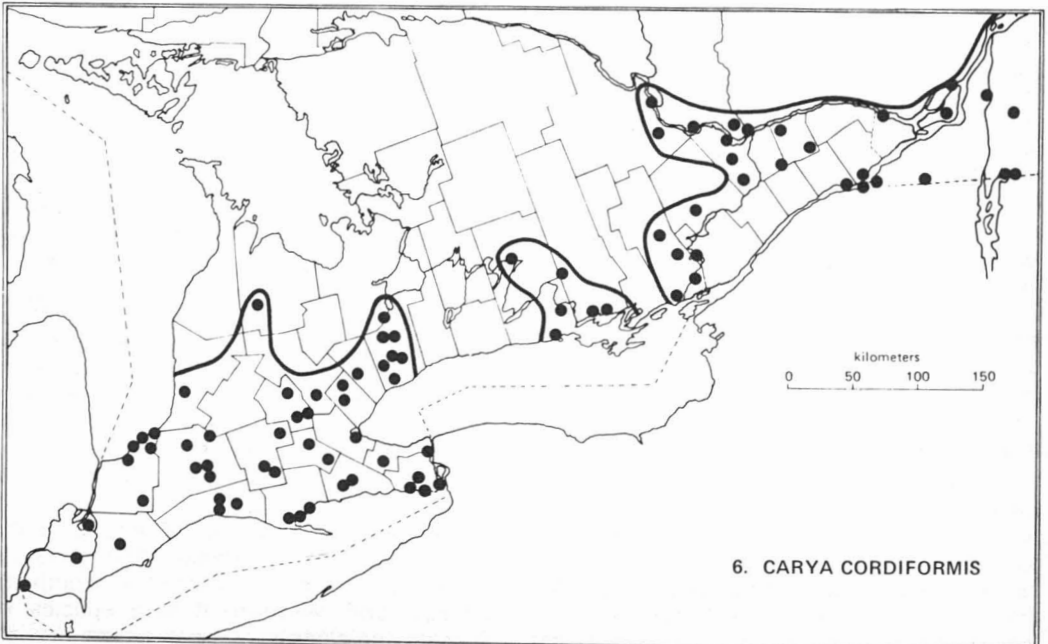
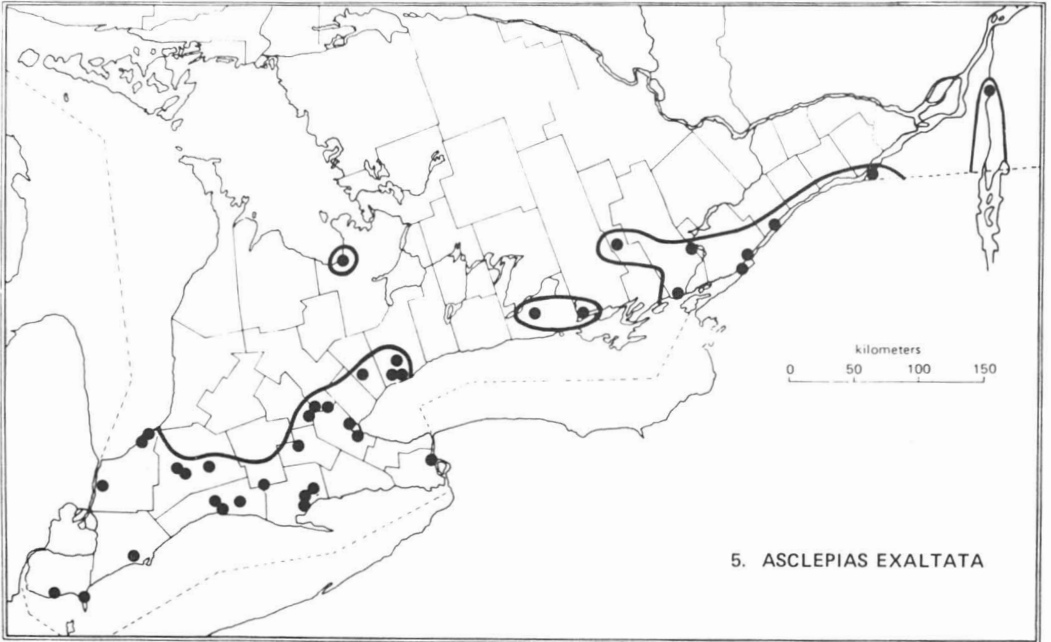
*Carya ovata* (Mill.) K. Koch (Map 7) — Little (1971) shows the distribution of this eastern North American hardwood tree extending south to Georgia and west to eastern Nebraska and Texas. The present day limits of distribution in the Carolinian zone would indicate that *C. ovata* entered that

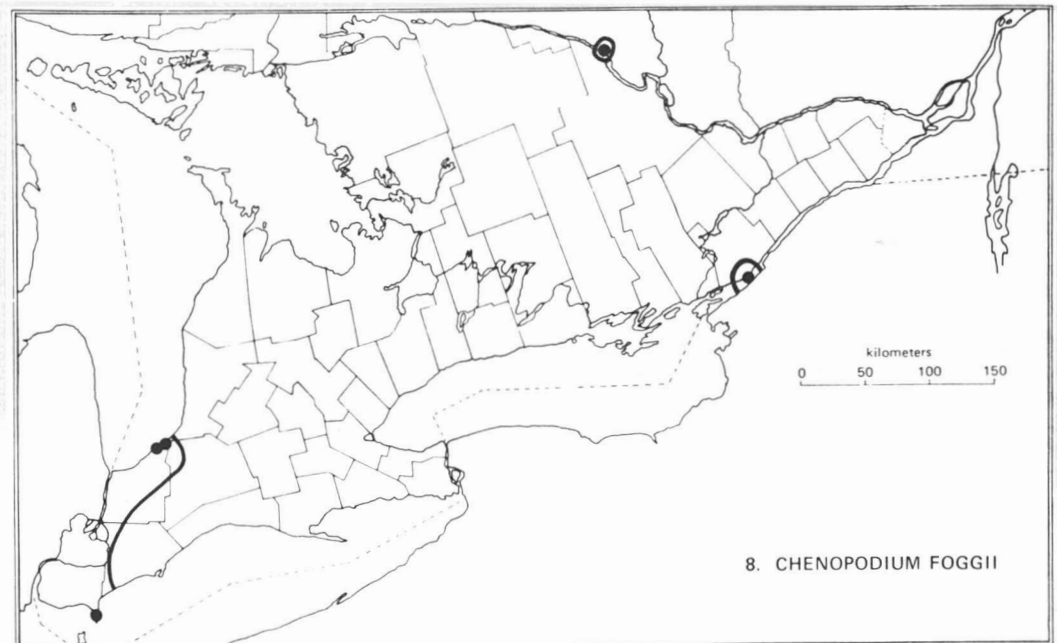
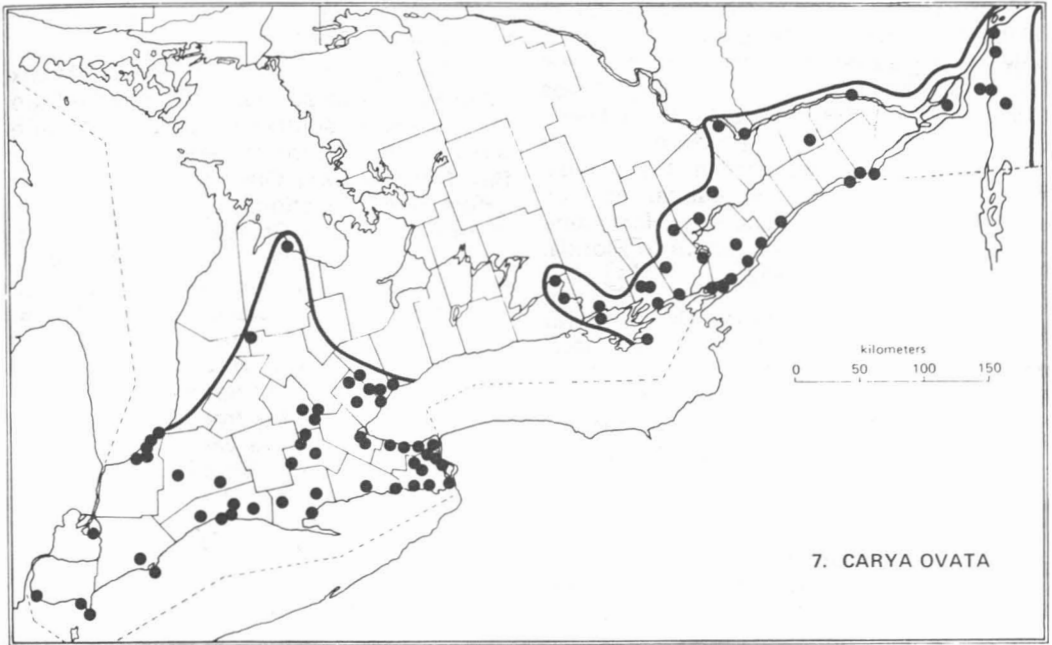
part of Ontario around both ends of Lake Erie. The eastern Ontario population and the western Québec populations would appear to have entered Canada around the east end of Lake Ontario, and perhaps also across a bridge to Prince Edward County. The migration may have been aided by aborigines.

*Chenopodium foggii* Wahl (Map 8) — This species which was described by Wahl in 1954 is known in Canada only in the extreme southwest of southern Ontario, in the Thousand Islands of the St. Lawrence River, and disjunct at Mont-Martin on the north side of the Ottawa River in Pontiac County, Québec. In the United States Wahl (1954) knew *C. foggii* from the New England States west to Minnesota and south to Illinois and North Carolina. How the species reached Mt. Martin is a matter of speculation. It is a species of open woodlands.

*Cirsium discolor* (Muhl.) Spreng. (Map 9) — This thistle which is a native species of North America, occurs in the Carolinian zone of southern Ontario, with a tongue extending northeastwards to southeastern Haliburton District. It is also found in the valley of the St. Lawrence River, and a disjunct population is known from north of Prince Edward County. Rousseau (1974) has a map of the distribution in southwestern Québec. In Manitoba there is a single collection from Emerson. Moore & Frankton (1974) in their treatment of the thistles of Canada state that it occurs as far south as Georgia and west as North Dakota. It is a species of roadsides and clearings in woods.

*Corylus americana* Walt. (Map 10) — This species is found in the Carolinian zone of southern Ontario with extensions northward into Huron County and to south of Lake Simcoe in York County. In eastern Ontario there are apparently two intrusions across the present St. Lawrence River Valley, and in addition a population north of Prince Edward County. In northwestern Ontario, *C. americana* is known from Rainy River and Kenora Districts. Scoggan (1957) reported this shrub from Fairford, about 110 miles north of Portage la Prairie, Manitoba, and the map in Rousseau (1974) indicates a collection from the extreme southwest corner of Québec. Early reports from Saskatchewan [including Fernald (1950) and Scoggan (1957)] are referable to *C. cornuta* (Breitung, 1957). In the United States Fernald (1950) gives the range as Maine to Oklahoma, south to Georgia and Missouri. It is a species of thickets and clearings.





*Desmodium cuspidatum* (Muhl.) Loud. (Map 11) — This legume is found in Canada only in the extreme southern part of the Carolinian zone and again along Jones Creek, 8 miles SW of Brockville in Leeds County. At this latter site it grew on a limestone talus in an opening in the woods. Fernald (1950) gives the habitat as rich woods and wooded banks, New Hampshire and Vermont to Michigan, south to Florida, Arkansas and eastern Texas.

*Desmodium nudiflorum* (L.) DC. (Map 12) — This is a species of rich or dry woods which is found in the United States from Maine to Minnesota south to northern Florida, Mississippi, Louisiana and eastern Texas (Fernald, 1950). In Canada *D. nudiflorum* is found in the Carolinian zone, in a band extending westward from the Thousand Island region to central Peterborough County, and apparently through the Lake Champlain corridor and up the Ottawa Valley well beyond the city of Ottawa.

*Geranium carolinianum* L. (Map 13) — In the Carolinian zone of southern Ontario *G. carolinianum* is found only at the extremities in the Niagara Peninsula and in Kent County. It is also found in eastern Ontario in the Thousand Islands region, and in Prince Edward County and northward. Of more interest perhaps is a disjunct population around the shores of Georgian Bay. All of the Ontario populations are related to basic rocks. Fernald (1950) gave the range Florida to southern California, north to Massachusetts, Connecticut, New York, West Virginia, southern Michigan, Illinois... and southern British Columbia. It is a species of dry rocky woods, fields and waste places.

*Hamamelis virginiana* L. (Map 14) — The distribution of this species in southern Ontario was discussed by Fox & Soper (1953), however more data is now available. It is now known throughout the Carolinian zone northward to southern Georgian Bay and east to Durham County, as well as in the valleys of the St. Lawrence and Ottawa rivers, and there is an intrusion north of Prince Edward County. A map of the distribution in southwestern Québec is given by Rousseau (1974), and it is also present in Nova Scotia and New Brunswick (Roland & Smith, 1969). Little (1977) depicts the United States distribution throughout the eastern states south to Florida, west to eastern Texas and south-eastern Minnesota. It is a species which occurs in a variety of habitats, both dry and

damp, in sandy or rocky woods, and on slopes of wooded ravines.

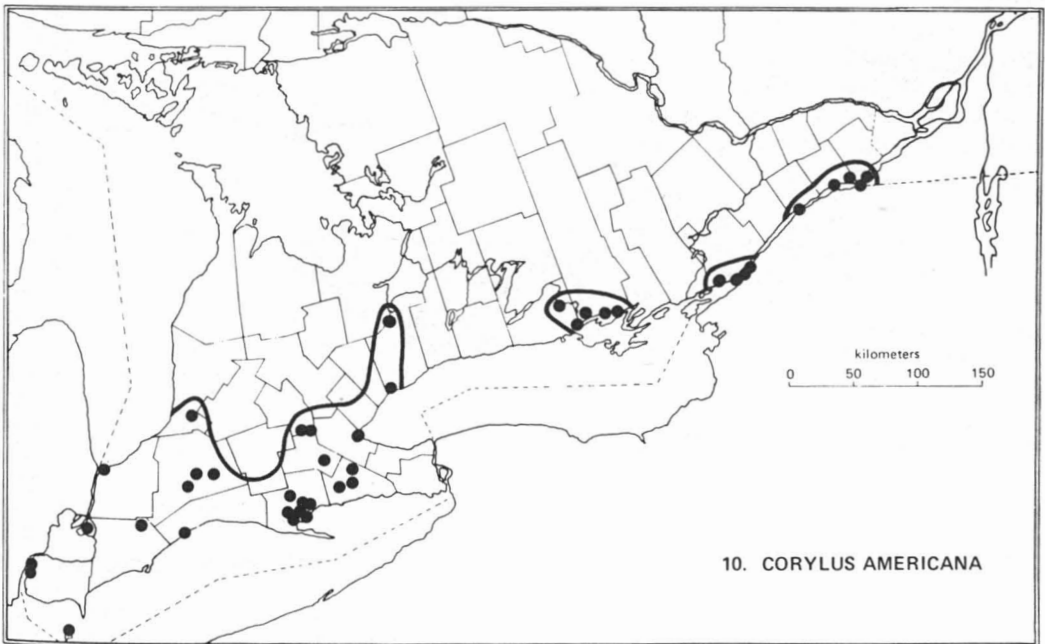
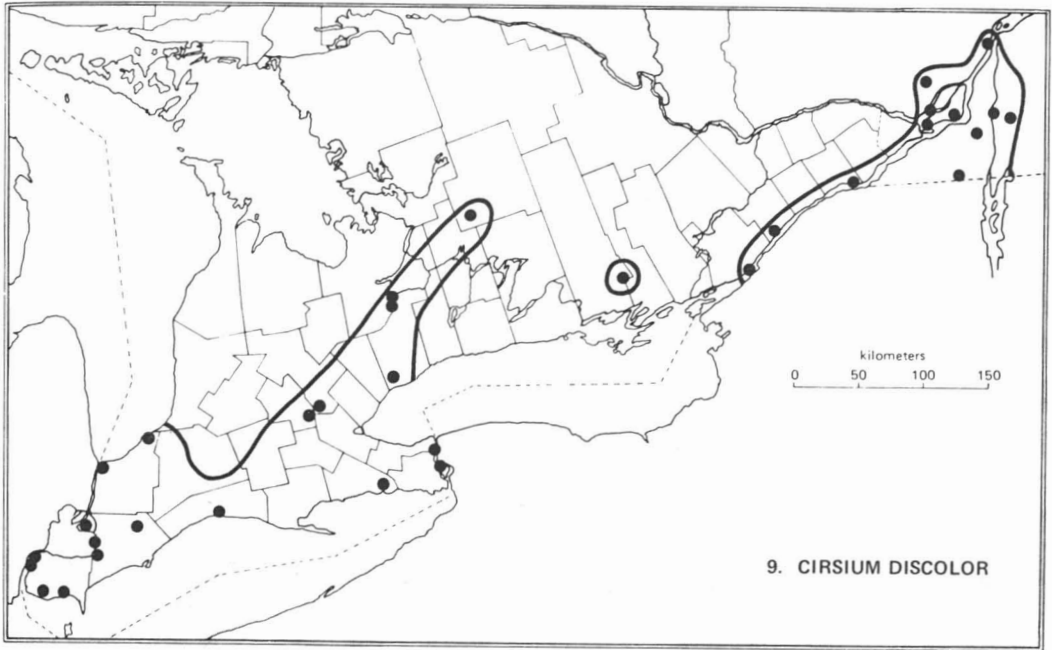
*Helianthemum canadense* (L.) Michx. (Map 15) — This species occurs in the Carolinian zone of southern Ontario and northward north of Toronto nearly to Georgian Bay. North of Lake Ontario there have been a number of collections westward from north of Prince Edward County, and there is an intrusion north through the Thousand Islands section of the St. Lawrence River, and most interestingly, a population in the Ottawa River Valley both northwest and southeast of the city of Ottawa. *H. canadense* is also found in the vicinity of Sault Ste. Marie. The only Québec record is from Calumet Island, Pontiac County, in the valley of the Ottawa River. In Nova Scotia this species is rare and local (Roland & Smith, 1969). In the United States it is found from southern Maine to Wisconsin, Mississippi and Missouri. The species occurs on sand plains, in dry open woods, in clearings and on barrens.

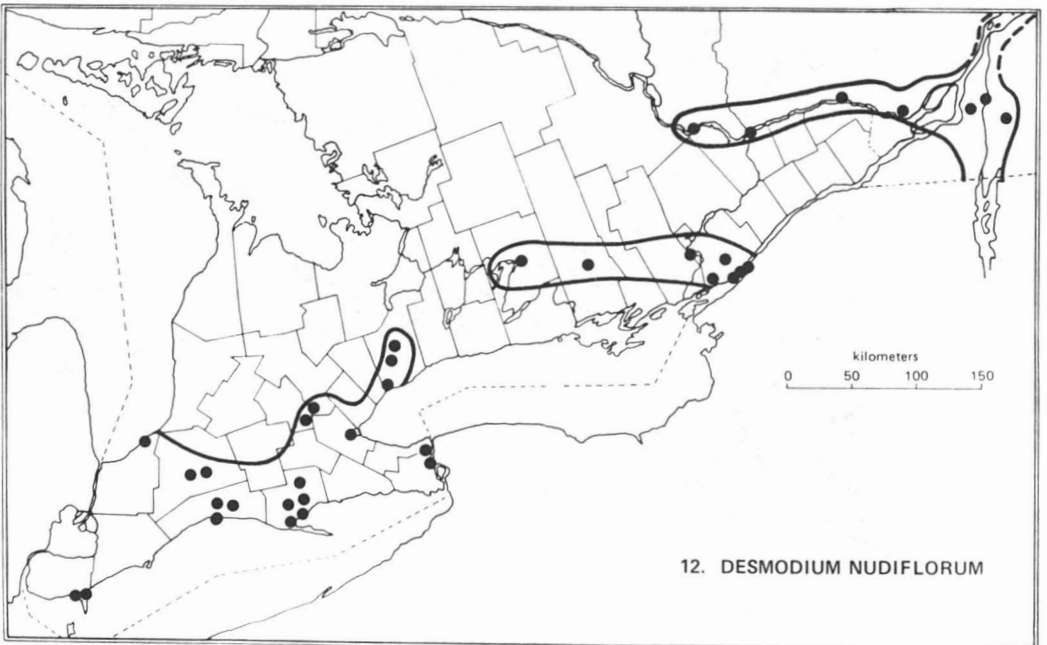
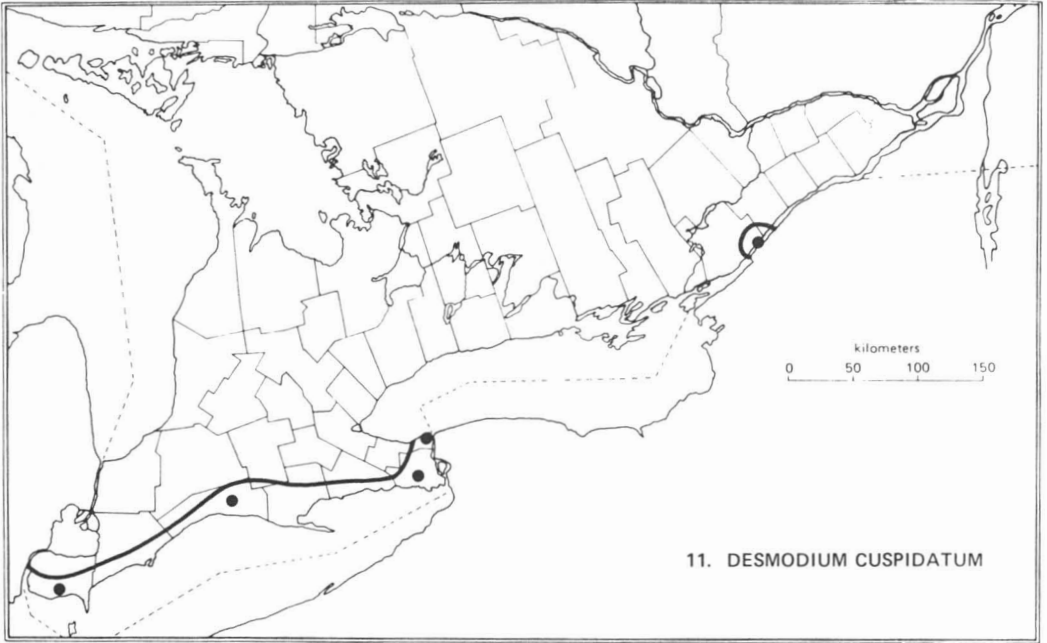
*Helianthus strumosus* L. (Map 16) — This composite has spread through the Carolinian zone to reach Huron County, southern Georgian Bay, southwestern Nipissing District and eastwards north of Lake Ontario to Peterborough County. *H. strumosus* is found again along the Upper St. Lawrence River, along the Ottawa River and in southwestern Québec. In the United States the species is found from the New England States west to North Dakota and south to Georgia, Alabama, Arkansas and Oklahoma, and is found in open woods, thickets and clearings.

*Heteranthera dubia* (Jacq.) MacM. (*Zosterella dubia* (Jacq.) Small (Map 17) — This is a species of slow streams and quiet waters which is often stranded as these waters recede. It is easily overlooked or taken for a sterile *Potamogeton* if the yellow flowers are not present. In Ontario it has been found through the Carolinian zone north to Huron County and the east side of Georgian Bay. In eastern Ontario it is along the St. Lawrence River and extends west to North of Prince Edward County and north to the Ottawa River. In Québec it is found only in the extreme southwestern counties and a small area north of Ottawa. South through the United States *H. dubia* is found as far as Florida, Texas and New Mexico, and west to Minnesota, Idaho and Oregon (Fernald, 1950).

*Lespedeza capitata* Michx. (Map 18) — This shrubby legume is found in dry open







soil from New England south to Florida and Texas, west to Minnesota and Nebraska. In Canada it is known from the Carolinian zone with an arm extending north of the west end of Lake Ontario to the vicinity of Lake Simcoe, a small area north of Prince Edward County, the upper St. Lawrence region, and an isolated stand in the vicinity of Ottawa. No specimens could be found to substantiate the range of "southwestern Québec" given in Fernald (1950), but Rouleau (1964) stated that "*On pourra aussi trouver dans l'ouest du Québec.*" Soper (1962) stated that three species of bush-clovers, *L. capitata*, *L. hirta* and *L. intermedia* have essentially the same range in Ontario.

*Lespedeza hirta* (L.) Hornem. (Map 19) — As stated by Soper (1962) *L. hirta* has an Ontario distribution similar to that of *L. capitata*, but it does however lack the extension north to Lake Simcoe, and also the isolated population in the vicinity of Ottawa. Fernald (1950) gave the range as southwestern Maine to southern Ontario, south to Georgia, Alabama, Arkansas and eastern Texas. The plant grows in dry open soils.

*Lespedeza intermedia* (S. Wats.) Britt. (Map 20) — As indicated by Soper (1962), *L. intermedia* has a distribution in southern Ontario similar to that of *L. hirta* and *L. capitata*, but there is an isolated population west of Lake Simcoe, and like *L. hirta* does not occur in the vicinity of Ottawa. Fernald (1950) gave the range as Florida to Texas, north to southwestern Maine, south central New Hampshire, Vermont, New York, southern Ontario, Michigan, Wisconsin and eastern Kansas. It is a species of dry open woods, thickets and clearings.

*Panicum latifolium* L. (Map 21) — This grass is found in the Carolinian zone, but also extends north of the west end of Lake Ontario to southern Muskoka District. It is also found along the upper St. Lawrence River and extends westward around the east end of Lake Ontario to the vicinity of Stony Lake in Peterborough County. In addition it is found in the Ottawa River Valley as far north as Renfrew County. Rousseau (1974) presented a map of the Québec localities in the Ottawa Valley and southwestern counties. Dore & McNeill (1980) stated that in eastern Ontario *P. latifolium* grows in dry oak scrubland on usually south-facing ridges, in Peterborough, Northumberland and Hastings counties it is on crystalline limestone, and in southwestern Ontario that it is found in mesic to dry woods on

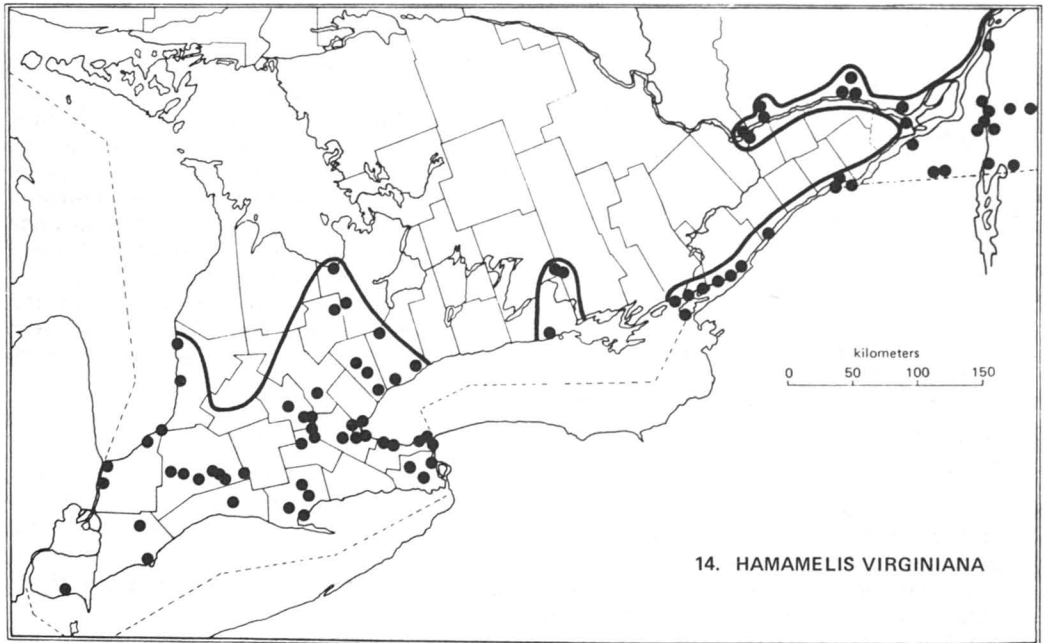
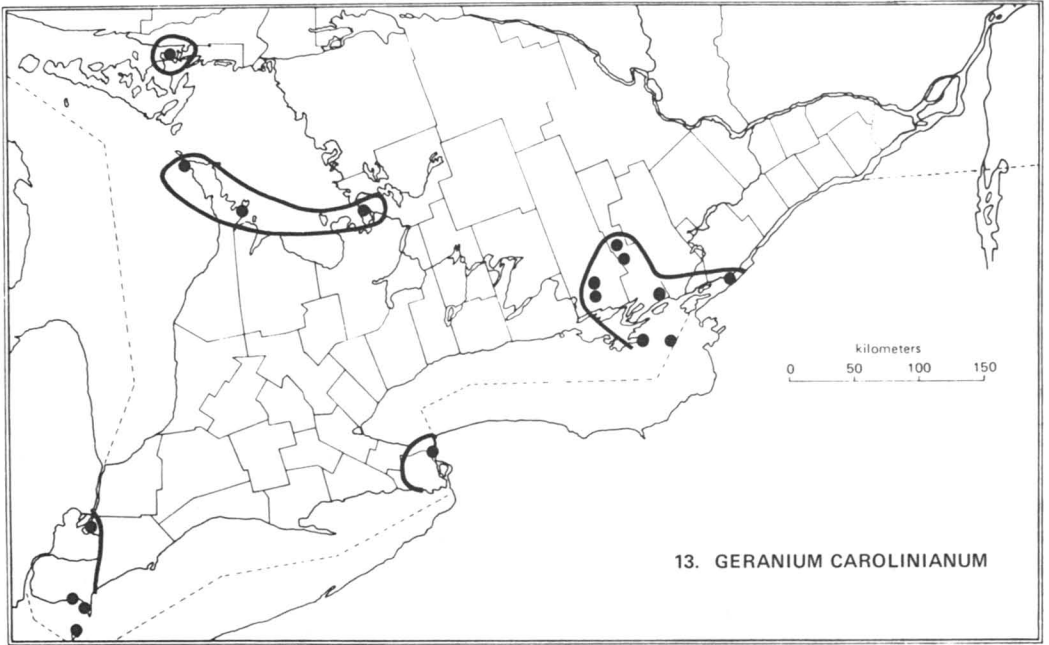
deep soil. Fernald (1950) gave the range in the United States as central Maine to Minnesota south to North Carolina, Tennessee, Missouri and eastern Kansas.

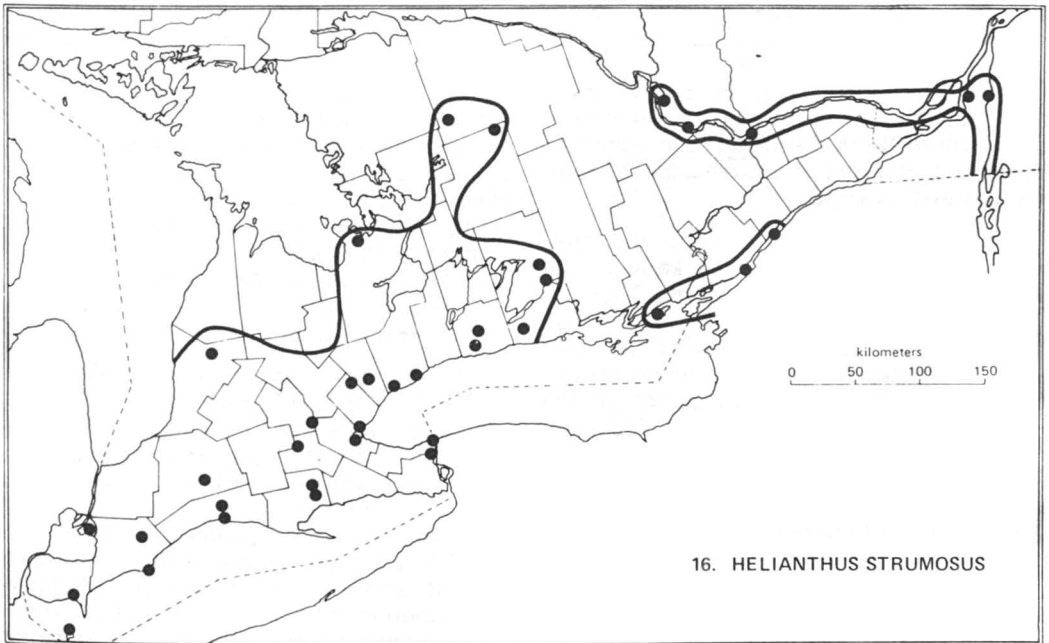
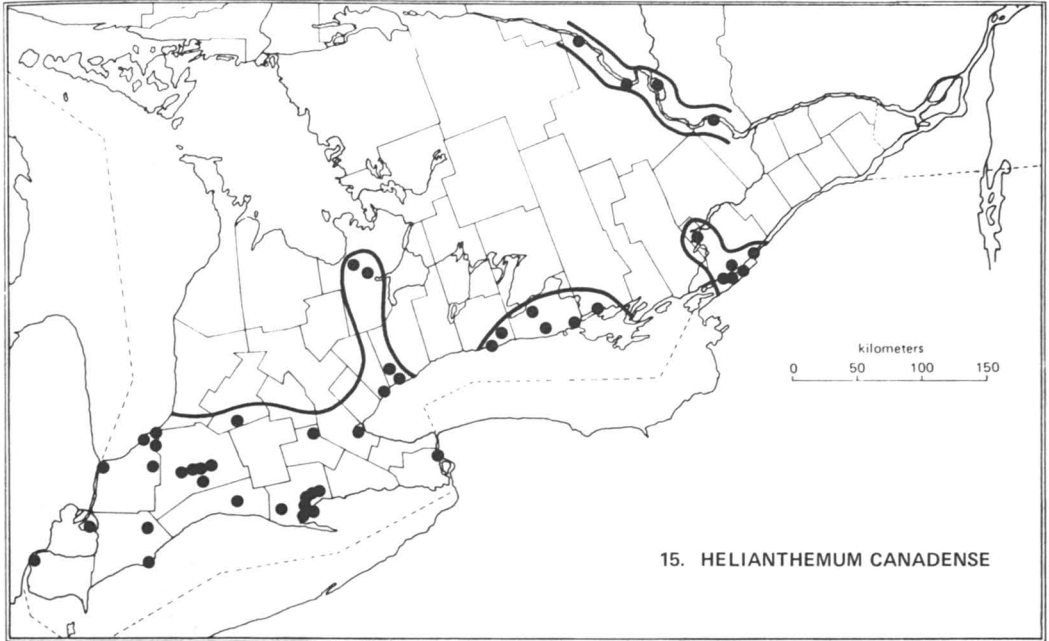
*Parietaria pensylvanica* Muhl. (Map 22) — In Ontario this species is found in the Carolinian zone, in and north of Prince Edward County, and as an intrusion across the upper St. Lawrence River. In Québec it is found only in the southwestern part of the province (Rousseau, 1974). Bassett *et al.* (1974) discussed the occurrence of *P. pensylvanica* in Canada and more recently Scotter & Cody (1979) reported it as new to the flora of Yukon Territory. The species is rather localized in the east where it is found mainly on moist shaded outcrops. In the United States it occurs from Florida to Texas (and Mexico) north to the New England States and west to Minnesota, North Dakota and Montana.

*Peltandra virginica* (L.) Schott & Endl. (Map 23) — Tuckahoe occurs in the Carolinian zone only at Long Point and in the Niagara Peninsula. Elsewhere in Ontario it is known from the Thousand Islands Region of the Upper St. Lawrence River, Prince Edward County and the Bay of Quinte. It occurs along mucky shores of rivers and streams. Dore (1966) suggested that the Gananoque River population was the result of recent introduction. Rousseau (1974) plotted the distribution in southwestern Québec. In the United States *P. virginica* ranges from Florida to Texas north to Maine, New Hampshire, Vermont and northern New York.

*Phytolacca americana* L. (Map 24) — The range of this species extends northward from the Carolinian zone into Perth County, and there is an isolated population at the south end of Georgian Bay as well as an intrusion into the province in the Thousand Islands Region of the upper St. Lawrence River. In southwestern Québec *P. americana* is found in the area immediately north of Lake Champlain. In the United States the species is reported from Florida to Texas north to New England and New York (Fernald, 1950).

*Pinus rigida* Mill. (Map 25) — Although not one of the group of species which enters Ontario from both ends of Lake Ontario, this pine does exhibit a distribution in the upper St. Lawrence River region and in southwestern Québec similar to that of other species treated in this paper. Both these populations are disjunct from the main United States stands which extend from the





southern New England states southwest through the Appalachian Mountains to northern Georgia (Little, 1971). In Ontario *P. rigida* occurs on shallow acid soils over granitic or quartzite outcrops or on shallow-to-moderately developed soils over sandstone pavements or rarely on oak-wood slopes of outcrops. The biological status in Ontario and adjacent New York has been discussed by Vander Kloet (1973).

*Pycnanthemum virginianum* (L.) Durand & Jackson (Map 26) — As mapped, this species extends through the Carolinian zone to the base of the Bruce Peninsula and north of the west end of Lake Ontario to north of Lake Couchiching in southern Muskoka District. Other occurrences are in Prince Edward County, in the upper St. Lawrence River region and in the Ottawa River Valley. Rousseau (1974) depicted only sites in the Ottawa Valley and in the vicinity of Montréal. Fernald (1950) gave the United States distribution as Maine to North Dakota, south to Virginia, North Carolina, Tennessee, Indiana, Illinois, Missouri and eastern Kansas.

*Quercus bicolor* Willd. (Map 27) — This oak is found in the Carolinian zone from whence Fox & Soper (1954) reported it. These authors rejected an earlier report (Macoun, 1886) from Hastings County, but there has been a more recent collection from near Marmora (Gillett & Calder 6373 (DAO)). It is now known also in the Thousand Islands region of the upper St. Lawrence River and in southwestern Québec (Rousseau, 1974). The map in Little (1971) indicates stands from southern Maine west to Minnesota and south to North Carolina, Tennessee and Missouri. It is a tree of bottomlands, stream-margins and swamps.

*Rhus copallina* L. (Map 28) — In the Carolinian zone this shrub is only known from Norfolk and Middlesex counties. There is thus no indication whether it arrived at these isolated areas via the Niagara or the Lake St. Clair route, or by some other means. The range extends northward across the upper St. Lawrence River in the Thousand Islands region and from there north into Leeds County (Vander Kloet, 1968), and there is apparently an isolated area in central Lennox and Addington County. In eastern Ontario, *R. copallina* is restricted to rocky outcrops, but in Norfolk and Middlesex counties it is found on sand plains. The North American distribution was given by

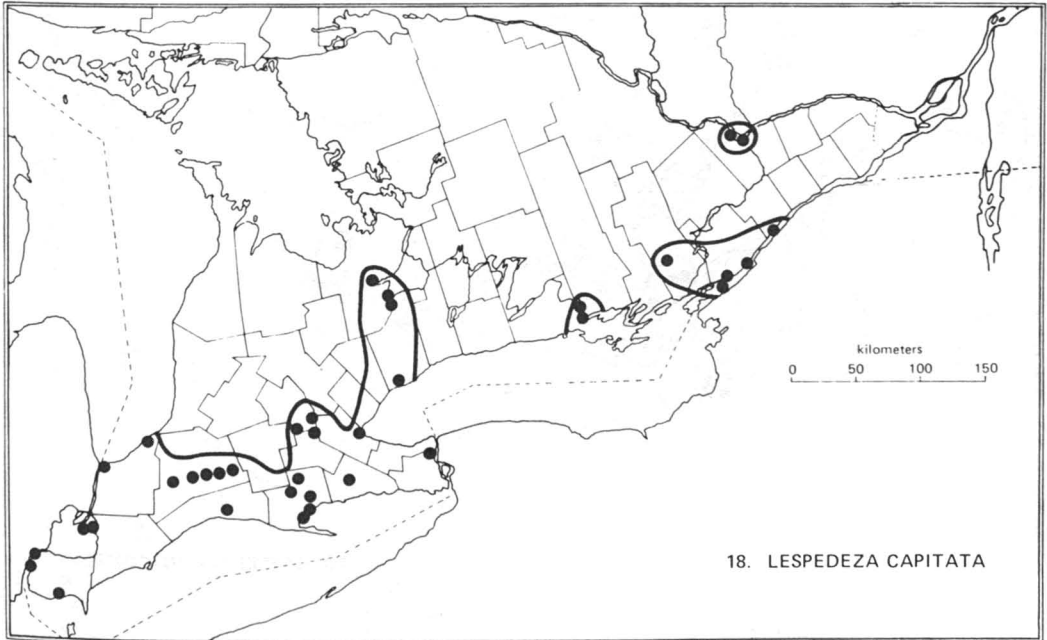
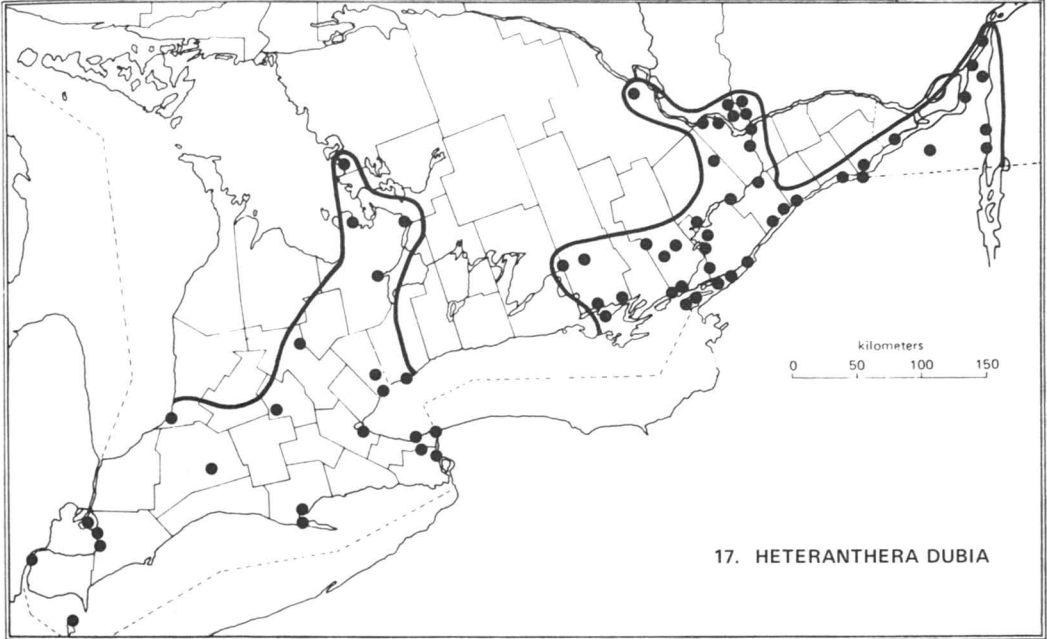
Barkley (1957) as New Hampshire to Georgia, north to Ontario, west to Michigan, Missouri and Texas.

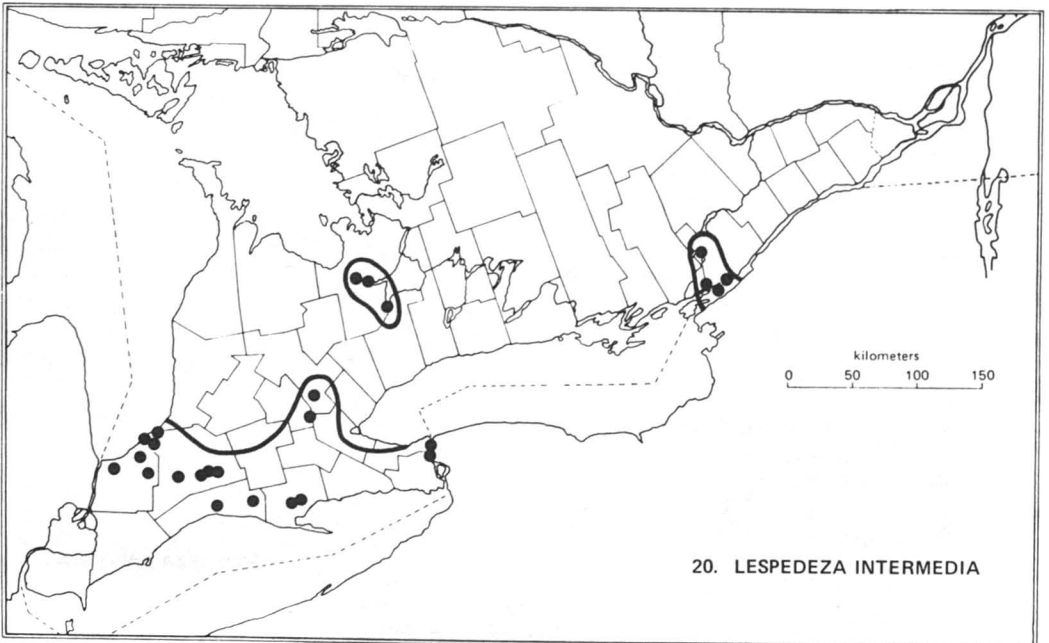
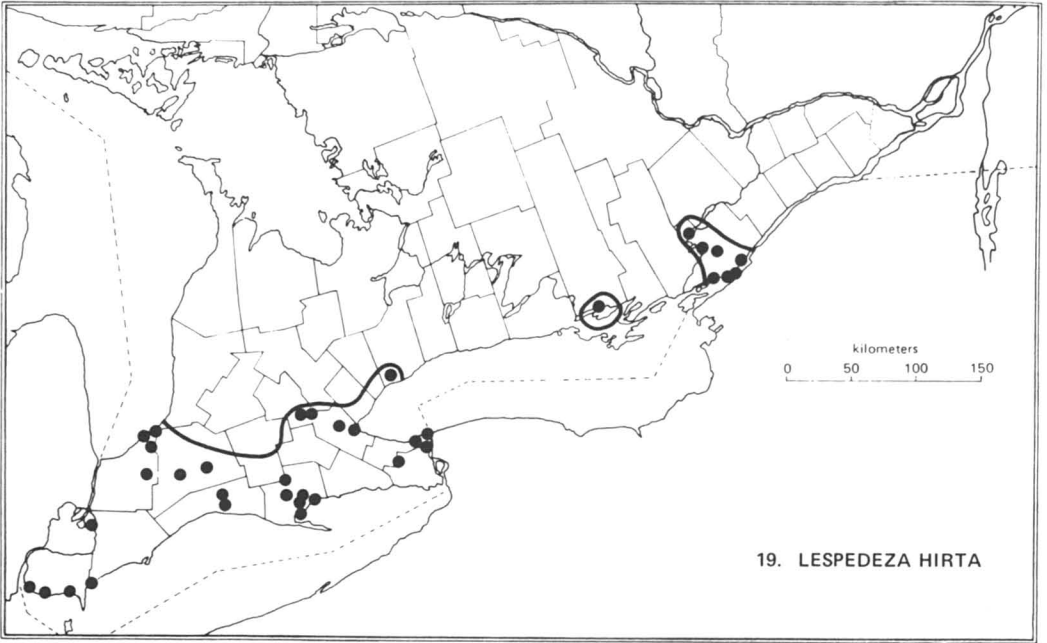
*Staphylea trifolia* L. (Map 29) — The range of this shrub in Ontario extends through the Carolinian zone north to the base of the Bruce Peninsula and near Georgian Bay. In eastern Ontario it is in the valleys of the Ottawa and St. Lawrence rivers and north of eastern Lake Ontario. In southwestern Québec *S. trifolia* is in the valley of the Richelieu and in the vicinity of Montréal (Rousseau, 1974). Fernald (1950) gave the range as southwestern Québec to Minnesota, south to Massachusetts, Connecticut, Georgia, Alabama, Arkansas and Oklahoma. It has been suggested (W.G. Dore, pers. comm.) that the distribution of this shrub is, at least in part, related to the movements of aboriginal people who might have used the dried fruits as rattles.

*Strophostyles helvola* (L.) Ell. (Map 30) — This legume is found in Ontario north of Lake Erie in the Carolinian zone, and as a rare plant in the Thousand Islands in the upper St. Lawrence River region. In Québec it is found adjacent to the St. Lawrence River from the vicinity of Montréal to below Québec City (Rousseau, 1974). In the United States *S. helvola* is found from Florida to Texas north to Massachusetts, Michigan, Wisconsin, Minnesota and South Dakota (Fernald, 1950).

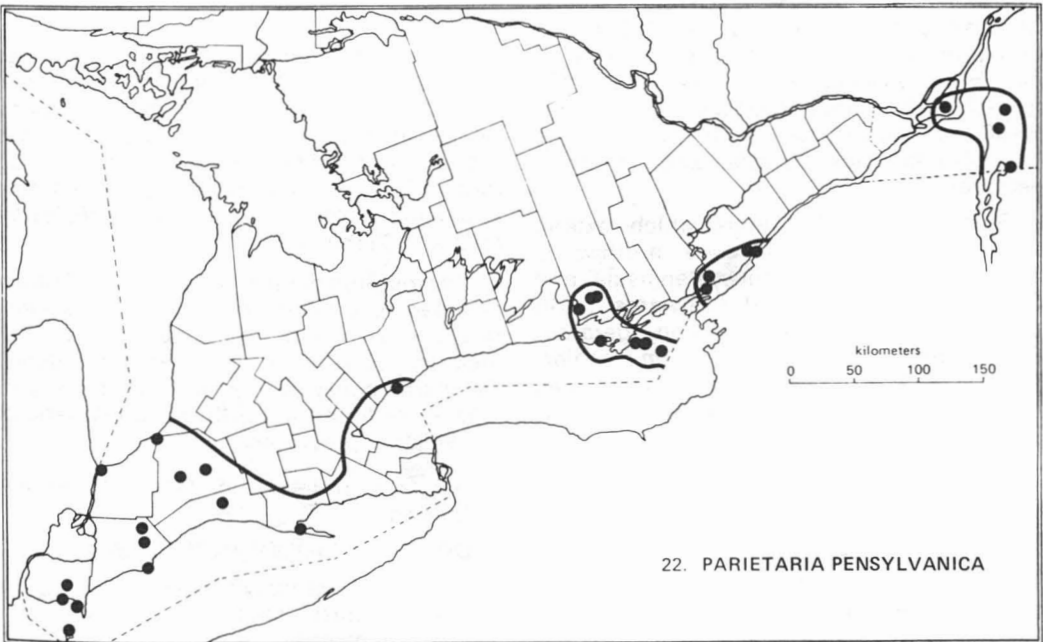
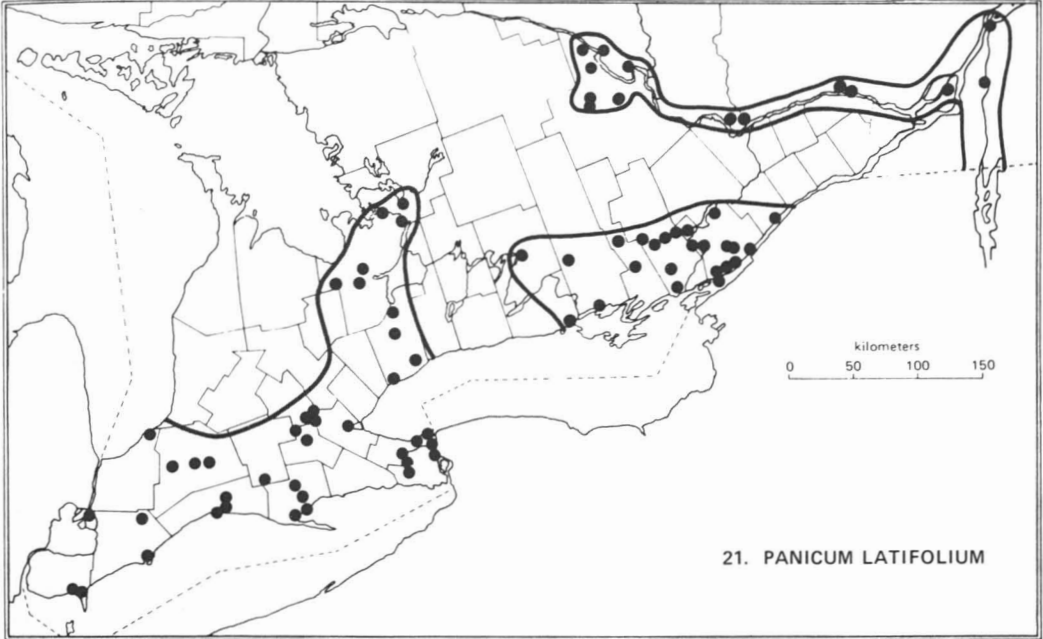
*Taenidia integerrima* (L.) Drude (Map 31) — This species ranges north of the Carolinian zone in Ontario north of western Lake Ontario to southern Georgian Bay. To the east there is break in the distribution, and known stands are to be found closer to Lake Ontario, and then follow the St. Lawrence River Valley to the vicinity of Montréal (Rousseau, 1974). Fernald (1950) gave the range from western Québec to Minnesota, south to Georgia, Alabama, Mississippi, Louisiana and Texas. It is a species of dry rocky or gravelly woods and thickets.

*Triodanis perfoliata* (L.) Nieuwl. (*Specularia perfoliata* (L.) A.DC. (Map 32) — Venus's looking-glass is found in Ontario in the Carolinian zone and again in an area extending north and westward from the upper St. Lawrence River to the vicinity of Trenton. In addition there is an isolated population at Big Chute on the Severn River in Muskoka District, and another at Ottawa. This latter population is in the arboretum at the Central Experimental Farm and undoubtedly repre-









sents an introduction. *T. perfoliata* is also known in Canada in southwestern British Columbia. In the United States it occurs from Florida to Texas, north to the New England States, Michigan, South Dakota and Montana. In our area it occurs on rock outcrops, barrens, roadsides and clearings.

*Vaccinium stamineum* L. (Map 33) — This shrub which enters Ontario from the south only in the valley of the Niagara River and in the Thousand Islands in the upper St. Lawrence River Valley has the smallest Canadian range of any of the species discussed in this paper. In the United States it ranges from Florida to Louisiana north to Massachusetts and New York, Ohio, Indiana and Missouri (Fernald, 1950). It is a species of dry woods, thickets and clearings.

### Discussion

The distributions that are illustrated here have the common feature of absence to a greater or lesser degree north of Lake Ontario. *Asarum canadense* may indeed be continuous and the short distance from whence there are no collections may rather reflect a lack of botanical activity in that area. At the other extreme, *Vaccinium stamineum* is known in Ontario only in the Thousand Islands and adjacent to the Niagara River.

A number of species have a part of their Ontario distribution which more or less conforms to the limits of the Carolinian zone as described by Fox & Soper (1954): *Andropogon scoparius*, *Anemonella thalictroides*, *Asclepias exaltata*, *Desmodium cuspidatum*, *D. nudiflorum*, *Lespedeza hirta*, *L. intermedia*, *Parietaria pensylvanica*, *Quercus bicolor*, *Strophostyles helvola* and *Triodanis perfoliata*.

Some have distributions which extend through the Carolinian zone northwards and may reach the Bruce Peninsula and Georgian Bay or extend eastwards north of Lake Ontario: *Andropogon gerardii*, *Carya cordiformis*, *C. ovata*, *Cirsium discolor*, *Corylus americana*, *Hamamelis virginiana*, *Helianthemum canadense*, *Helianthus strumosus*, *Heteranthera dubia*, *Lespedeza capitata*, *Panicum latifolium*, *Pycnanthemum virginianum*, *Staphylea trifolia* and *Taenidia integerrima*.

A group of species have populations adjacent to Georgian Bay, which may have arrived there either from the northwest or from the south: *Andropogon scoparius*, *As-*

*clepias exaltata*, *Geranium carolinianum*, *Phytolacca americana* and *Triodanis perfoliata*.

Another group of species have an isolated population either in Prince Edward County, or north of that county, indicating a possible channel of migration across what is now the eastern part of Lake Ontario at some early time following the glaciation, or perhaps a retreat of a more extensive distribution from east or west as the climate has deteriorated: *Anemonella thalictroides*, *Asclepias exaltata*, *Carya cordiformis*, *Cirsium discolor*, *Corylus americana*, *Hamamelis virginiana*, *Helianthemum canadense*, *Lespedeza capitata*, *L.hirta*, *Parietaria pensylvanica*, *Peltandra virginica*, *Pycnanthemum virginianum* and *Quercus bicolor*.

*Asclepias exaltata*, *Carya ovata*, *Desmodium nudiflorum*, *Geranium carolinianum*, *Heteranthera dubia*, *Panicum latifolium*, *Staphylea trifolia*, *Taenidia integerrima* and *Triodanis perfoliata* all have ranges which extend westwards around the east end of Lake Ontario to a greater or lesser degree.

Again, the Ottawa and Richelieu River valleys have served as channels of migration: *Andropogon gerardii*, *A. scoparius*, *Asclepias exaltata*, *Desmodium nudiflorum*, *Hamamelis virginianum*, *Helianthemum canadense*, *Helianthus strumosus*, *Panicum latifolium*, *Parietaria pensylvanica*, *Peltandra virginica*, *Pycnanthemum virginianum* and *Quercus bicolor*.

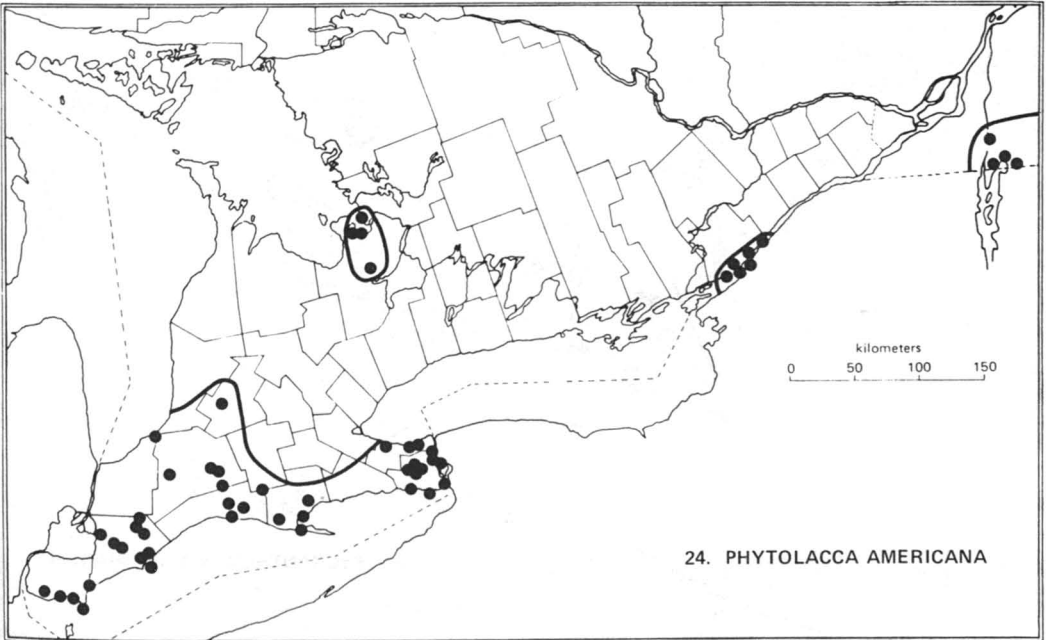
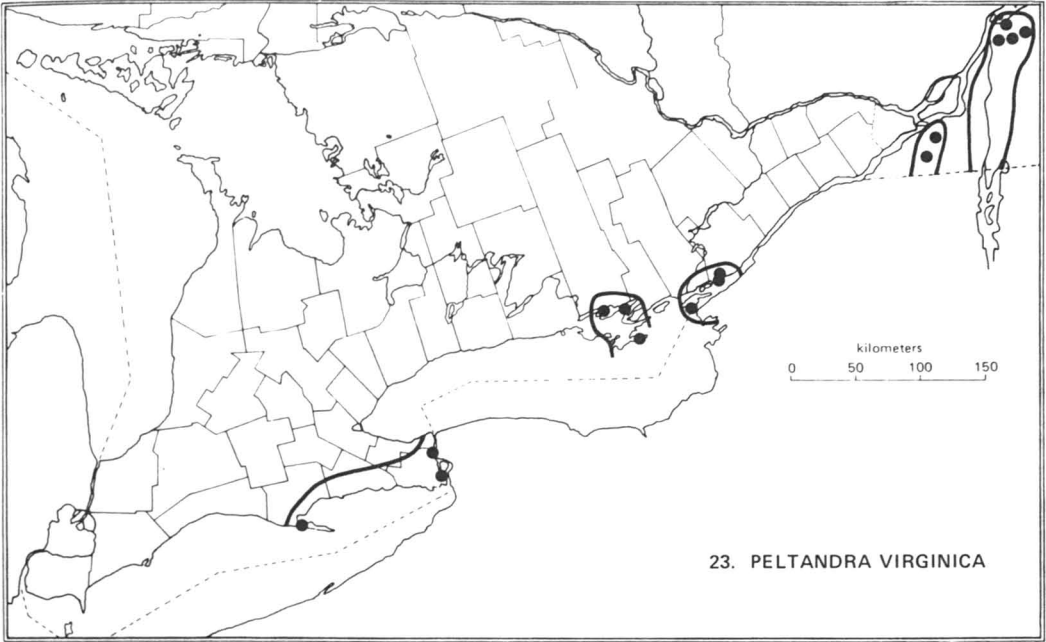
Some species have a continuous range along the upper St. Lawrence River and extend into southwestern Québec, or may be represented by several populations in this region: *Andropogon gerardii*, *Carya cordiformis*, *C. ovata*, *Cirsium discolor*, *Hamamelis virginiana*, *Heteranthera dubia*, *Staphylea trifolia* and *Taenidia integerrima*.

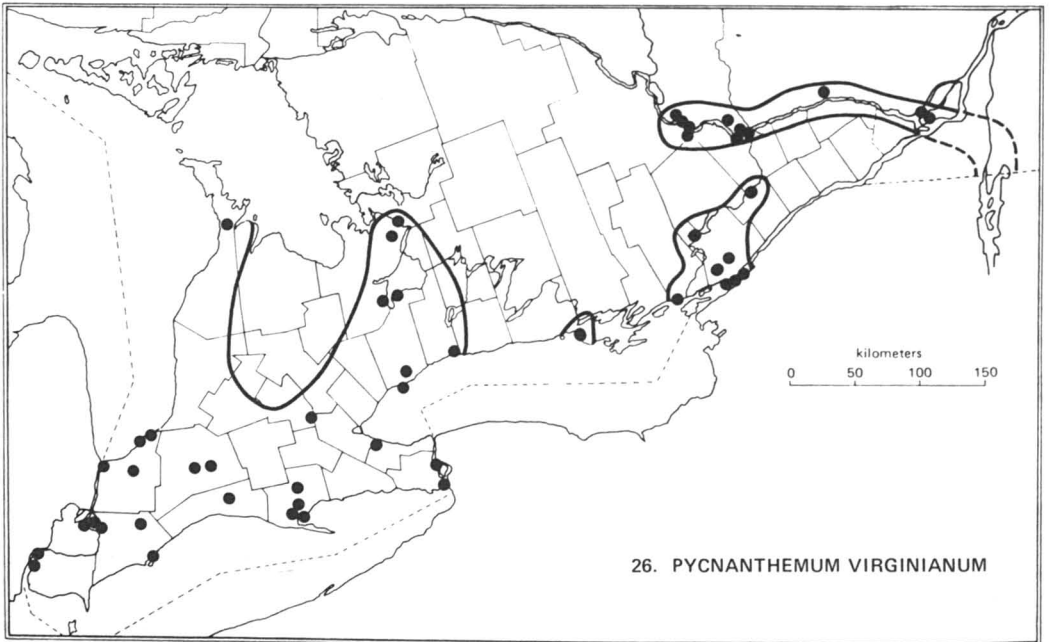
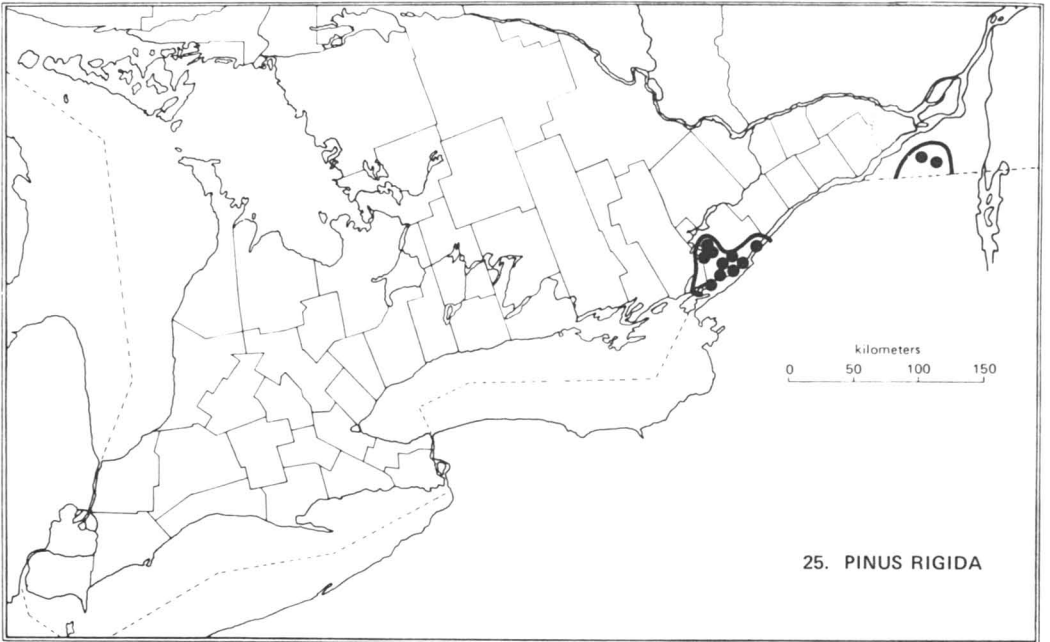
*Andropogon gerardii*, *A. scoparius*, *Asarum canadense*, *Cirsium discolor*, *Corylus americana*, *Geranium carolinianum*, *Helianthemum canadense*, *Heteranthera dubia*, *Parietaria pensylvanica* and *Triodanis perfoliata* are found in northwestern Ontario or the western provinces.

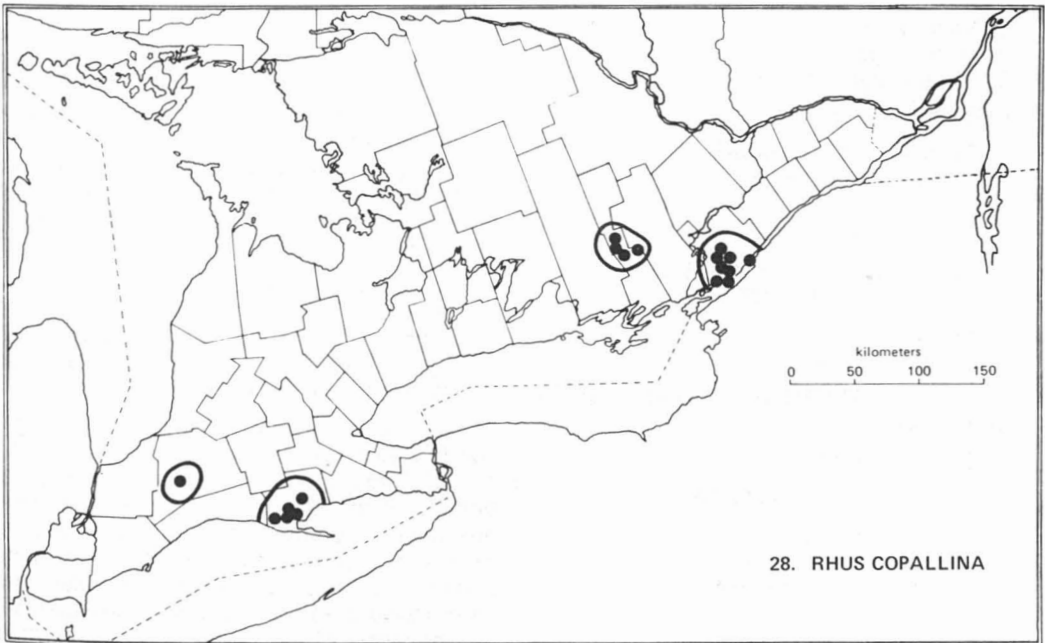
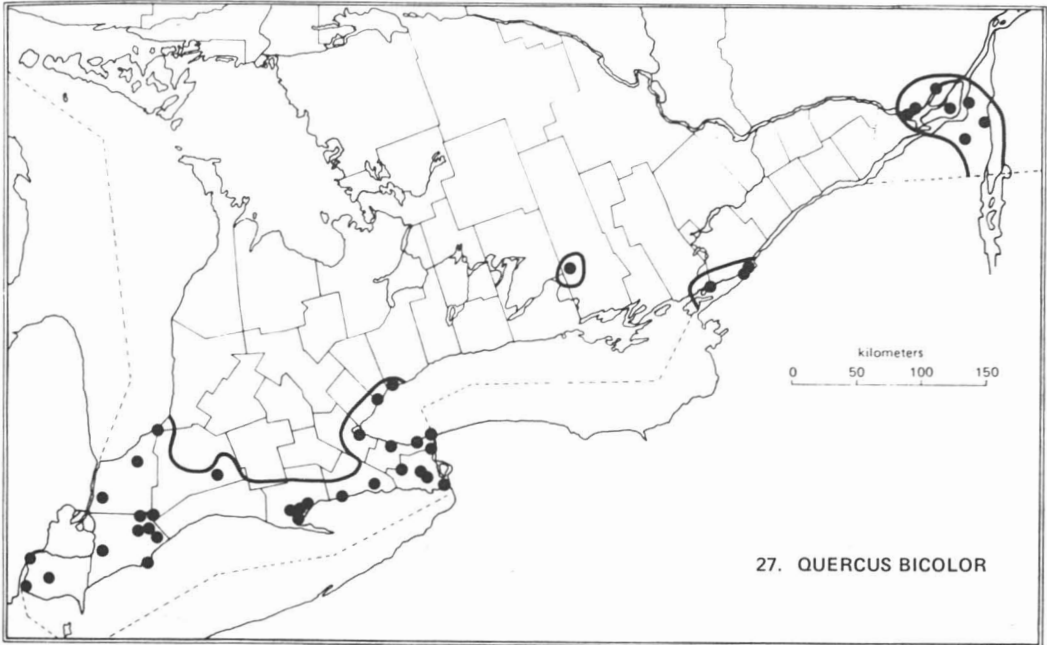
Habitat correlations of these species are as follows:

#### DRY OPEN WOODLANDS

*Anemonella thalictroides*  
*Carya cordiformis*  
*Carya ovata*







*Chenopodium foggii*  
*Hamamelis virginiana*  
*Helianthus strumosus*  
*Lespedeza intermedia*  
*Panicum latifolium*  
*Vaccinium stamineum*

DRY SAND DUNES AND PLAINS

*Andropogon gerardii*  
*Andropogon scoparius*  
*Hamamelis virginiana*  
*Lespedeza capitata*  
*Lespedeza hirta*  
*Rhus copallina*

OPEN TO PROTECTED ROCKY  
 OUTCROPS

*Panicum latifolium*  
*Parietaria pensylvanica*  
*Rhus copallina*  
*Triodanis perfoliata*

PAVEMENTS

*Pinus rigida*

PRAIRIES

*Andropogon gerardii*  
*Andropogon scoparius*

RICH WOODS

*Asarum canadense*  
*Asclepias exaltata*  
*Desmodium cuspidatum*  
*Desmodium nudiflorum*

RIVER AND LAKE SHORES

*Andropogon gerardii*  
*Andropogon scoparius*  
*Strophostyles helvola*

ROCKY WOODS

*Geranium carolinianum*  
*Hamamelis virginiana*  
*Pinus rigida*  
*Taenidia integerrima*

STREAMS AND QUIET WATERS  
 (SOMETIMES STRANDED)

*Heteranthera dubia*  
*Peltandra virginica*

SWAMPS, BOTTOMLANDS AND STREAM  
 MARGINS

*Quercus bicolor*

THICKETS AND CLEARINGS

*Cirsium discolor*  
*Corylus americana*  
*Geranium carolinianum*  
*Hamamelis virginiana*  
*Helianthus strumosus*

*Lespedeza intermedia*  
*Phytolacca americana*  
*Pycnanthemum virginianum*  
*Staphylea trifolia*  
*Strophostyles helvola*  
*Taenidia integerrima*  
*Triodanis perfoliata*  
*Vaccinium stamineum*

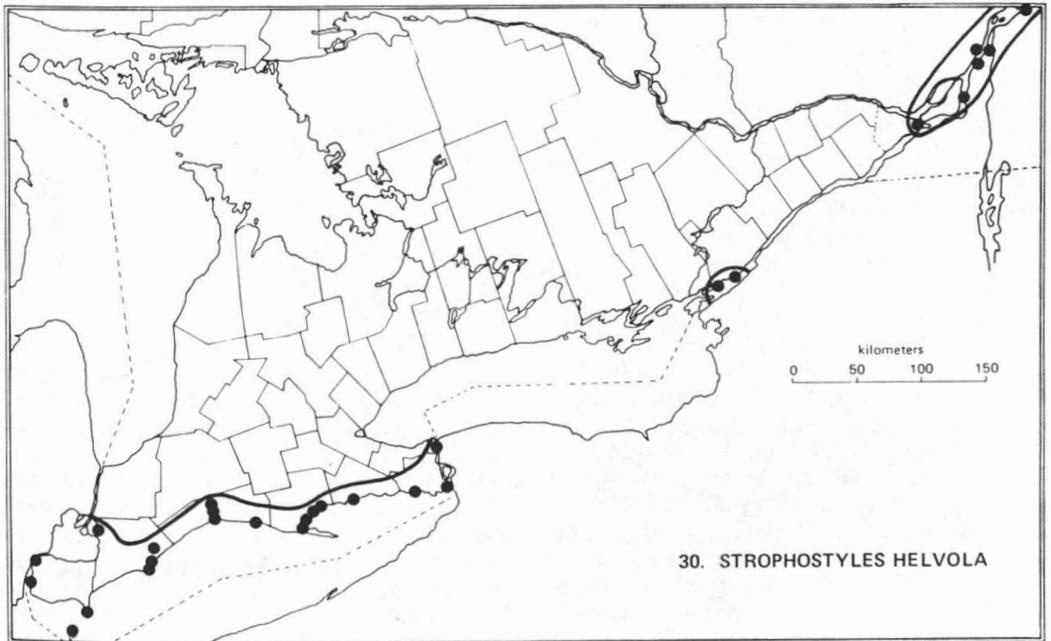
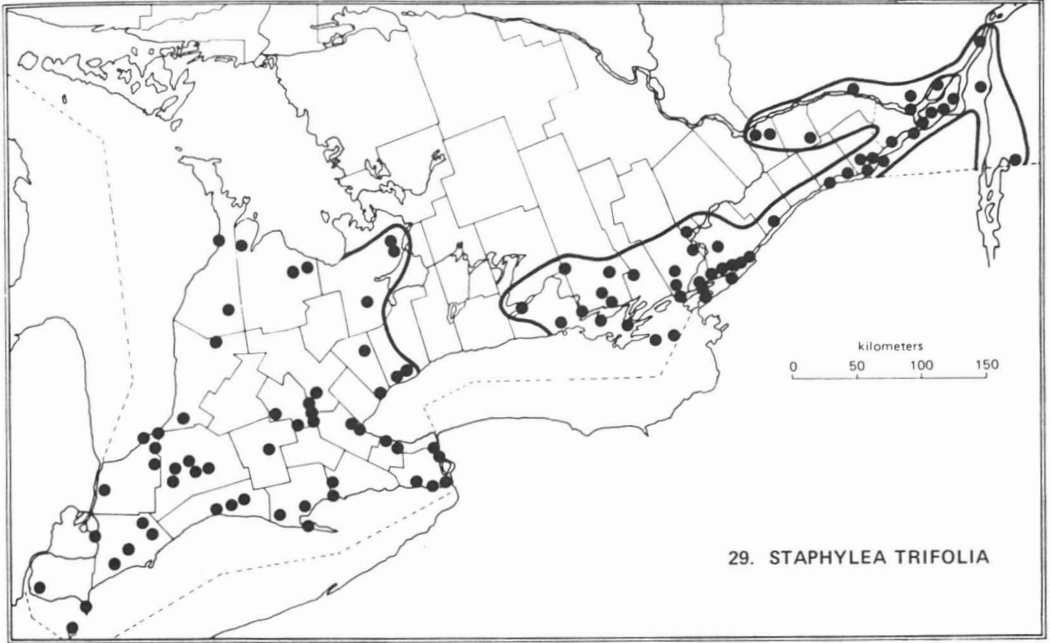
The advances of various plant species into southern Ontario have progressed in various directions following the glacial period, and indeed in some instances may have regressed, resulting in the isolation of populations. Distributions have been affected by the availability of suitable habitats, hardiness, aggressiveness and changes in climatic conditions. The few species that have been mapped here show some of the patterns that have developed. A complete mapping of the flora of southern Ontario would undoubtedly reveal many other interesting distributional patterns.

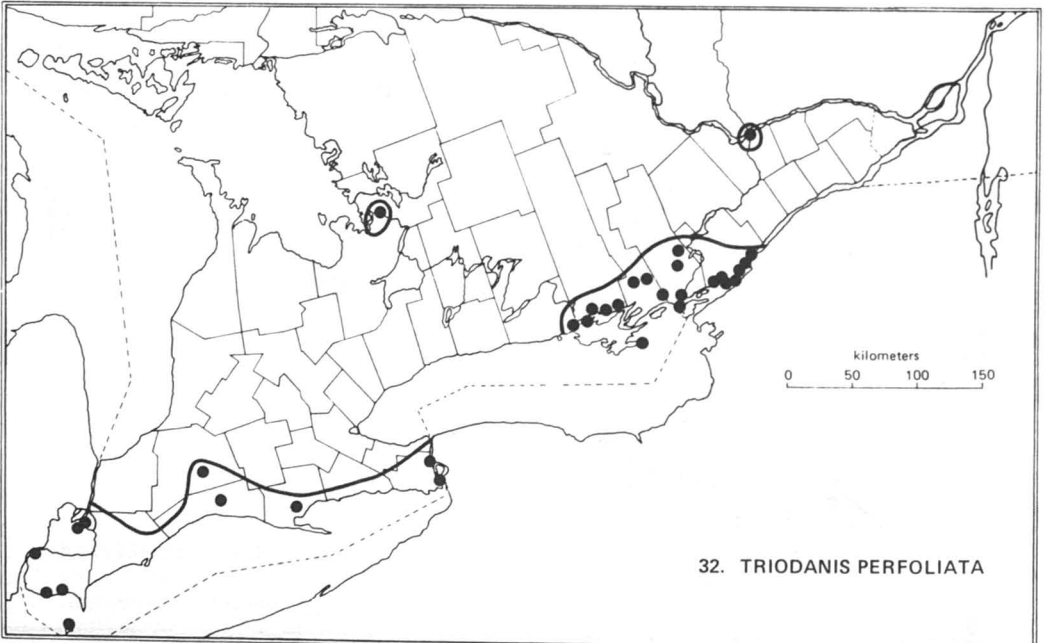
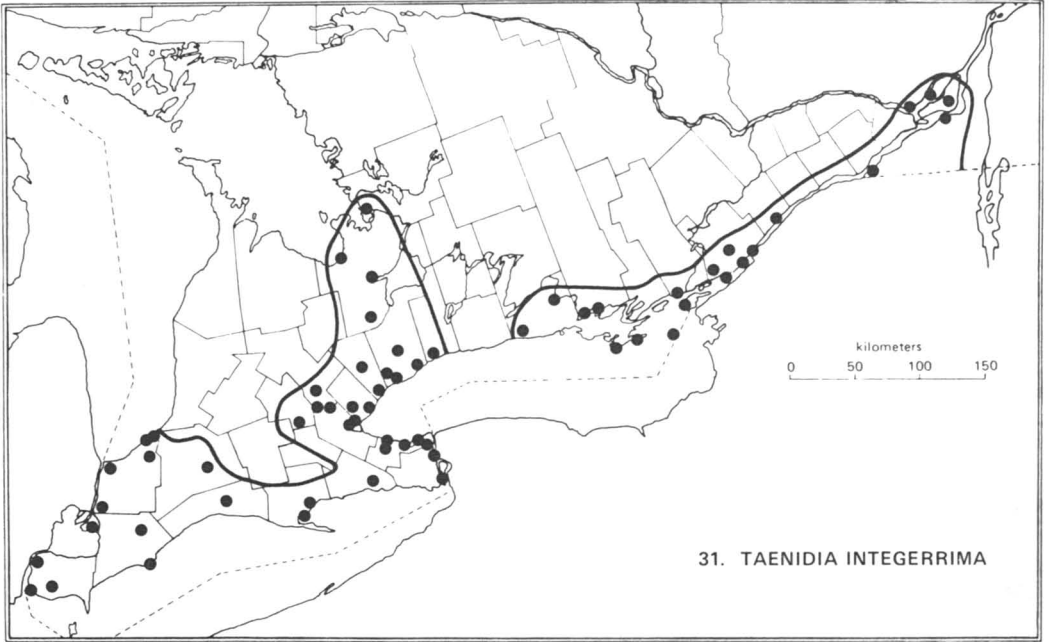
The map (Anonymous, 1969) showing glacial retreat of Wisconsin and recent ice in North America indicates that the maximum extension of glacial ice southward into New York State was 18.0-17.0 thousand years B.P. This was in the vicinity of the present city of New York. Through successive retreats, the southern boundary of this permanent ice had moved northward to just south of the upper St. Lawrence River by 12.5 thousand years B.P.

Prior to the availability of that map, Dore *et al.* (1959) had postulated on the revegetation of southern Ontario following the retreat of the glacier. Their map (Figure 1) which shows various stages of the deglaciation together with suggested routes of plant migration is reproduced here. It should be noted however, that the dates should be revised in the light of the more recent glacial map.

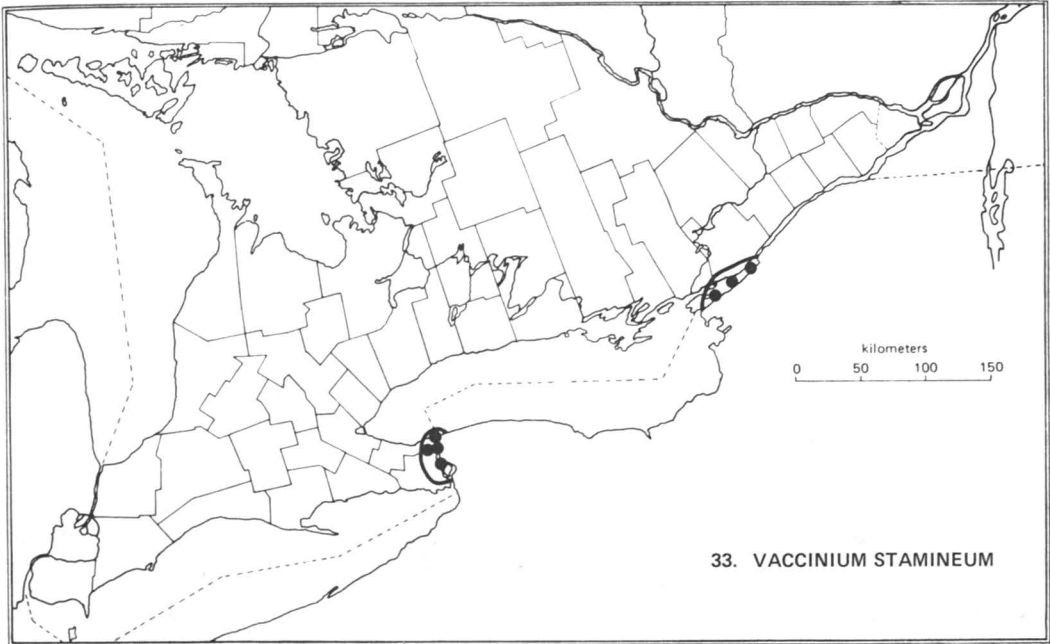
Part of the trends in vegetation cover following the retreat of the glacier can be discerned from fossil pollen studies of borings in peat bogs. Terasmae (1968), on the basis of such pollen studies stated:

"As the deglaciation proceeded northward, southern Ontario was invaded by boreal forest in which spruce, jack pine, birch, balsam fir, alder and willows were prominent components, together with a variety of non-arboreal species. It is quite certain that *Populus* (aspen) species and *Larix* (tamarack) were also well represented, but because of poor preservation of their









pollen little palynological evidence of them has remained in the sedimentary record.

"Pollen diagrams from the Harrowsmith bog.... have been used as examples of pollen sequences for southern Ontario. The Harrowsmith bog is about 20 miles northwest of Kingston (44°25'N Lat., 76°42'W Long.) and a sample of basal organic sediment was dated at 10,390 ± years B.P."

The species composition of the St. Lawrence region has gone through a series of stages which were dominated by different species, as demonstrated in the Harrowsmith diagram (Terasmae, 1968), but only fragments can be deciphered. That the species are still moving can be discerned, not only from the weedy introduced species from the Old World, but also from native species. Eastern red cedar (*Juniperus virginiana*) as an example, is invading old fields in the area north of eastern Lake Ontario and the upper St. Lawrence River; the old field or grey birch (*Betula populifolia*) has been extending westward into eastern Ontario from Québec; and the pitch pine (*Pinus rigida*) which now forms large mature stands on some of the St. Lawrence River islands and on ridges north of the river, is not reproducing well, and may indeed need fire to open up the habitat for regeneration of the species, if indeed the present climate will permit such

regeneration. The biological status of this pine in our region was described by Vander Kloet (1973). The factors of temperature, moisture, wind, fire, substrate and even aboriginal man have played their part in the movement of the various species which now make up the flora of our region.

Brown *et al.* (1980) in their publication, *The Climate of Southern Ontario*, have published a series of maps depicting mean dates of last and first occurrence of 32°F (0°C) in spring and fall, start and end of growing season, mean annual length of growing season, and mean annual growing-degree-days. Maps depicting plant hardiness zones in Canada were presented in *Ornamental Shrubs for Canada* by Sherk & Buckley (1968). These maps show in varying degrees, many similarities to the distributions of plant species depicted in this paper. Thus in Sherk & Buckley (1968), zone 6a extends north adjacent to the shore of Lake Huron to about half way between Goderich and the base of the Bruce Peninsula, follows a sweeping line eastwards north of Kitchener and Toronto, and extends along the north shore of Lake Ontario to about Port Hope; then most of Prince Edward County and a part of the upper St. Lawrence River including the Thousand Islands region fall in this zone. Also the Carolinian zone of Fox & Soper

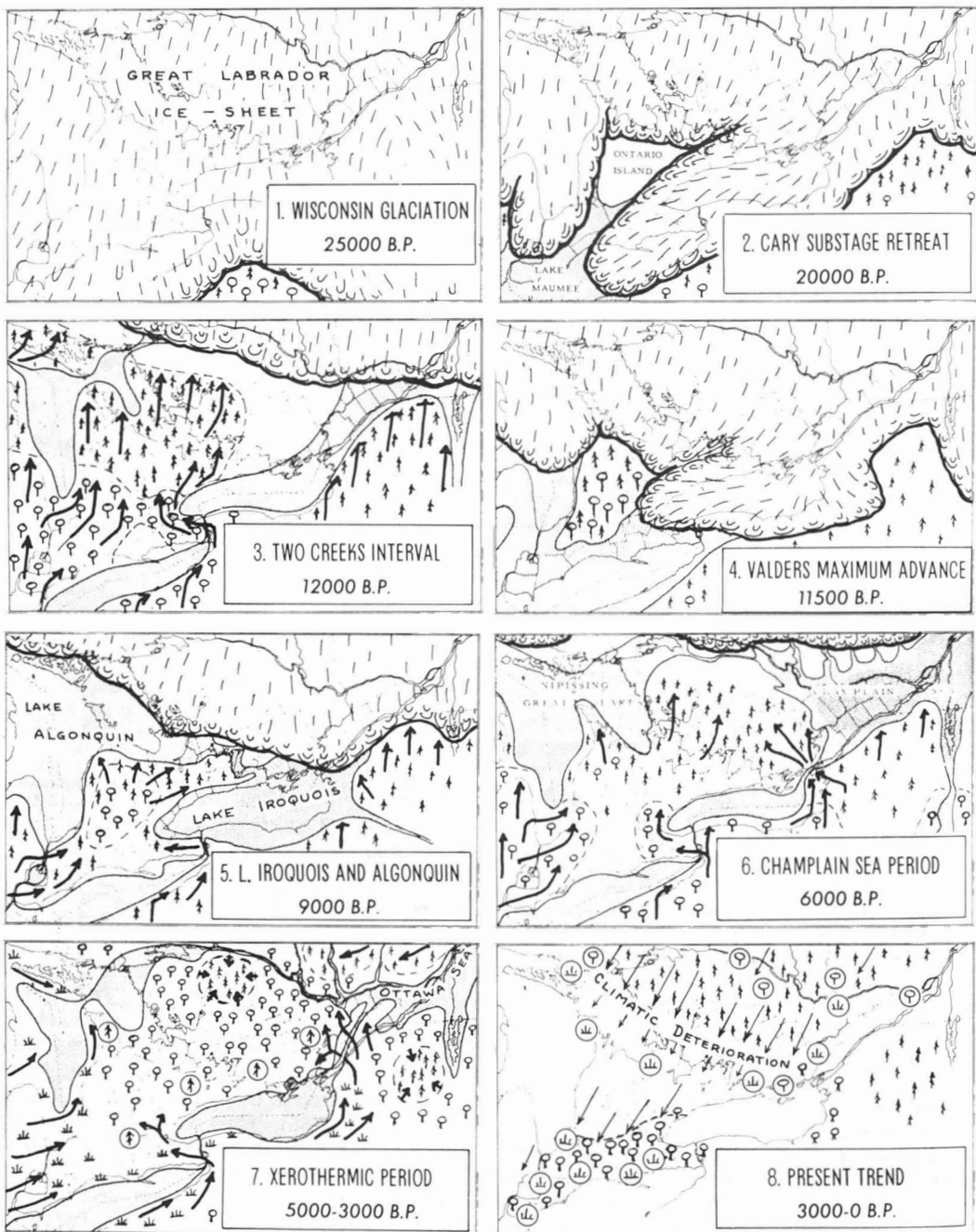


Figure 1. Stages in the glacial history of southern Ontario from Dore *et al.* (1959), reproduced with permission from Agriculture Canada.

(1952, 1953, 1954) corresponds well with the line depicting the average date of 5 November for the end of the growing season (Brown *et al.*, 1980). There is an "island" south of Georgian Bay where the mean date for the last and first occurrence of frost is 31 May and 20 September respectively (Brown *et al.*, 1980), thus indicating a very short growing season which would eliminate the possibility of some species growing there successfully.

Thus it can be seen that the present day distributions of the species treated in this paper may be dependent, at least in part, on present day climatic conditions, and may indeed be relicts of a period of more favorable conditions.

### References

- ANONYMOUS, 1969. Retreat of Wisconsin and recent ice in North America. — Geol. Surv. Can., Ottawa, Map 1257 A.
- BARKLEY, F.A. 1937. The Rhus-Complex. — Ann. Mo. bot. Gdn, 24: 316-319.
- BASSETT, I.J., C.W. CROMPTON & D.W. WOODLAND, 1974. The family Urticaceae in Canada. — Can. J. Bot., 52: 503-516.
- BREITUNG, A. J., 1957. Annotated catalogue of the vascular flora of Saskatchewan. — Am. Midl. Nat., 58: 1-72.
- BROWN, D.M., G.A. MCKAY & L.J. CHAPMAN, 1980. The climate of southern Ontario. — Envir. Can. Clim. Stud. no. 5, 67 p.
- DORE, W.G., 1966. Opinion on the occurrence of Arrow Arum (*Peltandra virginica*) in Gananoque River. — Blue Bill, 13: 44-46.
- DORE, W.G. & J. McNEILL, 1980. Grasses of Ontario. — Agric. Can. Res. Brch. Monogr. no. 26, 566 p.
- DORE, W.G., F.H. MONTGOMERY, S.C. ZOLTAI & W.J. CODY, 1959. IX International Botanical Congress Field Trip 9, Southern Ontario, 40 p. offset.
- FERNALD, M.L., 1950. Gray's manual of botany, 8<sup>th</sup> ed. — American Book Co., New York, 1632 p.
- FOX, W.S. & J.H. SOPER, 1952. The distribution of some trees and shrubs of the Carolinian zone of southern Ontario. I. — Trans. R. Can. Inst., 29: 65-84.
- FOX, W.S. & J.H. SOPER, 1953. The distribution of some trees and shrubs of the Carolinian zone of southern Ontario. II. — Trans. R. Can. Inst., 30: 3-32.
- FOX, W.S. & J.H. SOPER, 1954. The distribution of some trees and shrubs of the Carolinian zone of southern Ontario. III. — Trans. R. Can. Inst., 30: 99-130.
- HOLMGREN, P.K. & W. KEUKEN, 1974. Index Herbariorum. Part I. The herbaria of the world. — Regnum veg., no. 92, 397 p.
- LITTLE, E. L. Jr., 1971. Atlas of United States trees. Vol. 1. Conifers and important hardwoods. — U.S.D.A. Forest Serv. Misc. Publ. no. 1146, 9 p. + 200 maps.
- LITTLE, E. L., 1977. Atlas of United States trees. Vol. 4. Minor eastern hardwoods. — U.S.D.A. Forest Serv. Misc. Publ. no. 1342, 17 p. + 166 maps.
- MACOUN, J., 1886. Catalogue of canadian plants. Part III (Apetalae), p. 395-623. — Dawson Bros., Montréal.
- MAUFFETTE, Y., 1981. *Asclepias exaltata* L. sur le Mont Saint-Hilaire, Québec. — Naturaliste can., 108: 105-106.
- McNEILL, J. & W.J. CODY, 1978. Some species area relationships for vascular plants of some St. Lawrence River islands. — Can. Fid Nat., 92: 10-18.
- MOORE, R.J. & C. FRANKTON, 1974. The thistles of Canada. — Agric. Can. Res. Brch Monogr. no. 10, 112 p.
- ROLAND, A.E. & E.C. SMITH, 1969. The flora of Nova Scotia. Part 2. — Proc. Trans. N.S. Inst. Sci., 26: 279-743.
- ROULEAU, E., 1964. In Frère Marie-Victorin, Flore Laurentienne, 2<sup>e</sup> éd. — Les Presses de l'Université de Montréal, 927 p.
- ROUSSEAU, C., 1974. Géographie floristique du Québec/Labrador. — Les Presses Univ. Laval, 799 p.
- ROWE, J.S., 1972. Forest regions of Canada. — Envir. Can., Can. Forestry Serv. Publ. no. 1300, 172 p.
- SCOGGAN, H.J., 1957. Flora of Manitoba. — Bull. natn. Mus. Can., no. 140, 619 p.
- SCOTTER, G.W. & W.J. CODY, 1979. Interesting vascular plants from southeastern Yukon Territory. — Can. Fid Nat., 93: 163-170.
- SHERK, L.C. & A.R. BUCKLEY, 1968. Ornamental shrubs for Canada. — Can. Dep. Agric. Res. Brch Publ. no. 1286, 187 p.
- SOPER, J.H., 1955. Some families of restricted range in the Carolinian flora of Canada — Trans. R. Can. Inst., 31: 69-90.
- SOPER, J.H., 1962. Some genera of restricted range in the Carolinian flora of Canada. — Trans. R. Can. Inst., 34: 1-56.
- SOPER, J.H., W.G. DORE & G. BORAIH, 1963. Distribution of rue-anemone and its northern limit in Canada. — Can. Fid Nat., 77: 220-225.
- TERASMAE, J., 1968. A discussion of deglaciation and the boreal forest history in the northern Great Lakes region. — Proc. ent. Soc. Ont., 99: 32-43.
- VANDER KLOET, S.P., 1968. Occurrence of *Rhus copallina* in Leeds County, Ontario. — Can. Fid Nat., 82: 291-293.

- VANDER KLOET, S.P., 1953. The biological status of pitch pine, *Pinus rigida* Miller in Ontario and adjacent New York. — Can. Fld Nat., 87: 249-253.
- WAHL, H.A., 1954. A preliminary study of the genus *Chenopodium* in North America. — Bartonia, 27: 1-46.

## LISTE ANNOTÉE DE NOMBRES CHROMOSOMIQUES DE LA FLORE VASCULAIRE DU NORD-EST DE L'AMÉRIQUE. III<sup>1</sup>

B. M. KAPOOR

Department of biology, St. Mary's University  
Halifax, Nova Scotia B3H 3C3

et

C. GERVAIS

Service de recherche en défense des cultures,  
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.  
Complexe scientifique, Québec G1P 3W8

### Résumé

Ce travail présente les nombres chromosomiques de 20 taxons nord-est américains, comptés sur du matériel de Nouvelle-Écosse et du Québec. Une extension d'aire intéressante est signalée pour *Arnica lanceolata* Nutt. dont le nombre chromosomique,  $2n = 76$ , est confirmé. D'autre part, un nombre nouveau,  $2n = 22$ , est rapporté pour *Polygonum cilinode* Michx. tandis que celui d'*Alchemilla minor* Huds. a été redéterminé et évalué à  $2n = 112$ .

### Abstract

This paper reports the chromosome numbers of 20 northeastern american taxa, counted on material from Nova Scotia and from Québec. An interesting geographical extension is reported for *Arnica lanceolata* Nutt. whose chromosome number,  $2n = 76$ , is confirmed. In addition, a new number,  $2n = 22$ , has been found for *Polygonum cilinode* Michx. while the chromosome complement of *Alchemilla minor* Huds. have been redetermined to be  $2n = 112$ .

### Introduction

Cette troisième liste de nombres chromosomiques de la série commencée dans *Le Naturaliste canadien* (Gervais, 1979, 1981) se rapporte principalement à du matériel de Nouvelle-Écosse. Peu de recherches cytologiques ont été entreprises de façon systématique sur les plantes de cette province bien que certaines espèces et certains genres aient fait l'objet, à l'occasion, de comptages chromosomiques (Goodwin, 1937; Beaudry & Chabot, 1959; Bent, 1969; Bent & Smith, 1969; Kapoor, 1972, 1978; Semple & Brouillet, 1980; Jones, 1980). La flore de la Nouvelle-Écosse est pourtant très diversifiée et possède une histoire phytogéographique

fort intéressante (Roland & Smith, 1969). L'étude cytologique de certains de ses éléments floraux, comme les taxons arctiques-alpins isolés, ou comme les éléments méridionaux ayant atteint le sud de la péninsule par la plaine côtière atlantique post-glaciaire, pourrait apporter des informations très utiles sur les problèmes de microévolution et sur l'histoire des migrations elle-même. Nous espérons que certains pas pourront être faits bientôt dans cette direction.

### Matériel et méthodes

On trouvera dans le premier travail de cette série (Gervais, 1979), une description des méthodes cytologiques utilisées pour l'étude du matériel du Québec. Les plantes de Nouvelle-Écosse ont été récoltées par l'auteur principal de ce travail avec l'assistance d'Ursula Grigg. Les chromosomes

<sup>1</sup> Contribution n° 304 de la Direction générale de la recherche et de l'enseignement, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

somatiques et méiotiques ont été étudiés sur des jeunes racines et des bourgeons prélevés sur des plantes vivantes cultivées dans la serre du Département de biologie de l'Université St. Mary à Halifax. Dans quelques cas, des méristèmes ont été obtenus en plaçant les racines des plantes fraîchement récoltées dans un récipient d'eau distillée pendant deux semaines environ. Cette méthode a été particulièrement utile pour les *Aster* et les *Solidago*.

Les divisions mitotiques ont été obtenues en soumettant les extrémités de racines à un pré-traitement de 2½ heures dans une solution de 8-hydroxyquinoline 0,002 M, à une température d'environ 18°C. Après trois lavages à l'eau du robinet, les racines étaient fixées dans un mélange 1:3 d'acide acétique glacial et d'alcool éthylique. Après un nouveau lavage, elles étaient hydrolysées dans du HCl pendant 15 à 20 minutes, à 60°C, puis colorées dans la fuschine leucobasique pendant 15 à 30 minutes avant d'être écrasées dans du carmin acétique à 1%.

Les divisions méiotiques ont été étudiées sur des anthères de boutons fixées dans un mélange 1:3 d'acide acétique et d'alcool éthylique, colorées et écrasées dans une goutte de carmin acétique à 1%.

Les chromosomes ont été photographiés, si possible, à l'aide d'un microscope Zeiss Standard Universel, mais ils ont toujours été dessinés à la chambre claire.

Les spécimens-témoins des comptages effectués sur le matériel de Nouvelle-Écosse sont conservés dans l'herbier de B.M. Kapoor à l'Université St. Mary.

## Résultats

### 41) *AGRIMONIA STRIATA* Michx.

$n = 28$  (fig. 42)

Québec. Comté de Québec: Sainte-Foy, terrains vagues au N. de la rue De la Suète, 11/08/72, *Gervais* 72-28 (QUÉ). — Comté de Chicoutimi: Saint-Fulgence, Cap Jaseux, bord d'un chemin, 14/07/71, *Gervais* et *R. Cayouette* 71-166 (QUÉ).

Un seul comptage chromosomique, celui de Brittan (1953), est signalé pour cette espèce. Les résultats obtenus sur les plantes du Québec coïncident avec la détermination de Brittan ( $2n = 56$ ) qui n'indique pas cependant l'origine de son matériel. Les différents stades méiotiques observés, de la diacynèse à la métaphase II, étaient réguliers avec formation de 28 bivalents.

### 42) *ALCHEMILLA MINOR* Huds.

$2n = 112$  (fig. 43)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Halifax, Point Pleasant Park, 17/06/71, *Kapoor* 71-158.

Cette espèce européenne est peu fréquente en Nouvelle-Écosse. On ne la rencontre qu'à Chezzetcook et à Halifax (Dingle et Point Pleasant Park). Elle est considérée par certains comme une simple sous-espèce apogame d'*A. vulgaris* L. Ses chromosomes somatiques sont minuscules, de sorte qu'il est difficile d'en déterminer la morphologie exacte; leur nombre, estimé tout d'abord à  $2n = c.96$  (Kapoor, 1972), a été redéterminé maintenant et établi à  $2n = 112$ , à l'aide de matériel supplémentaire. Comme le nombre chromosomique de base de ce genre est estimé à  $x = 8$ , l'espèce semble être 14-ploïde.

### 43) *ARISAEMA ATRORUBENS* (Ait.) Blume

$2n = 56$  (fig. 44)

Pré-traitement: colchicine, 0,3%, 1,5 à 4,5 h (peu satisfaisant). Québec. Comté de Québec: Sainte-Foy, bois humide près du Complexe scientifique, 22/09/71, *Gervais* 71-322 (QUÉ).

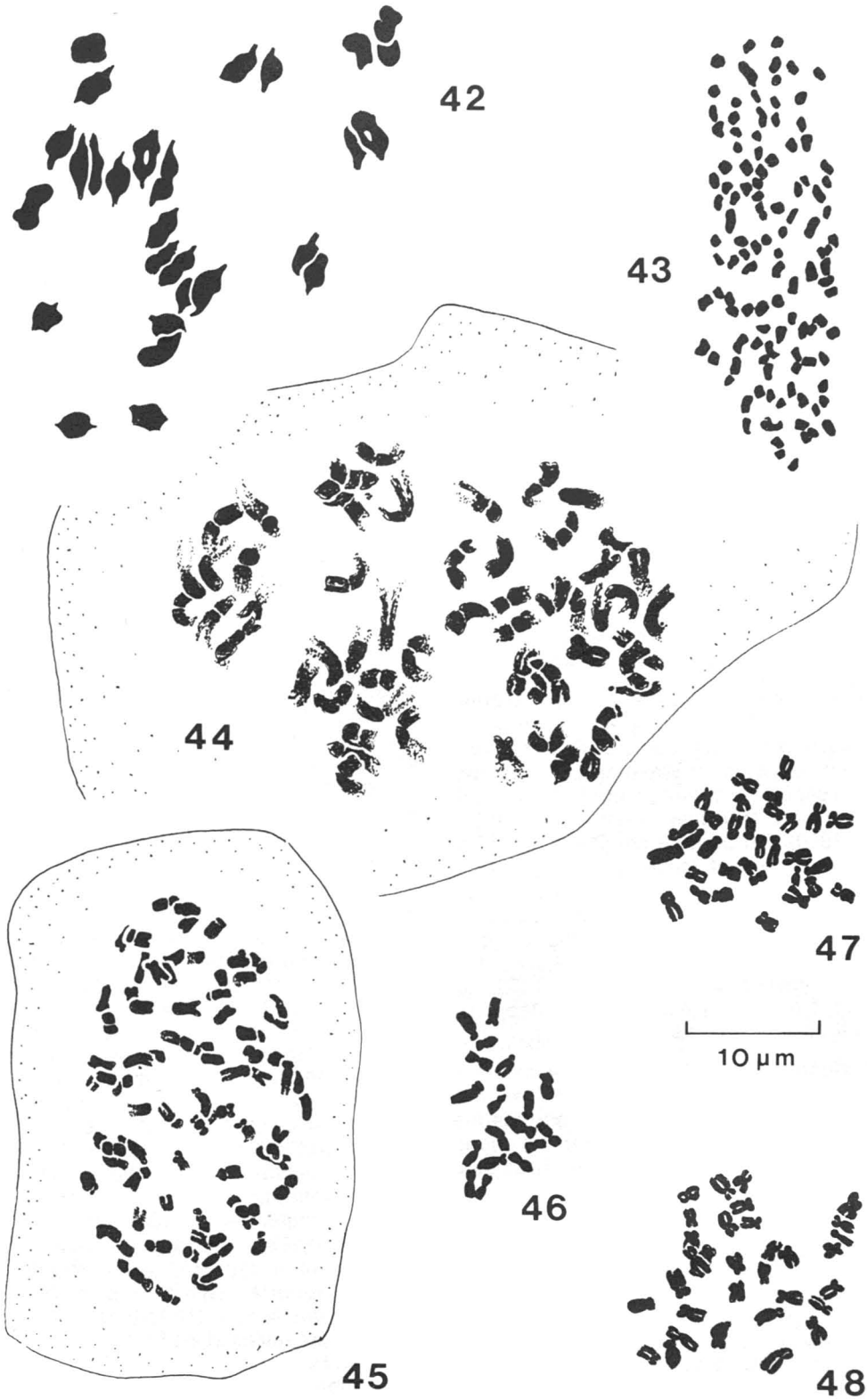
Le nombre chromosomique de cette espèce ( $2n = 56$ ) ne semble avoir été compté que par Marchant (1972) sur du matériel cultivé au Jardin botanique de Munich dont l'origine n'est pas précisée. Aucun des pré-traitements utilisés n'a réussi à donner de belles métaphases avec des chromosomes aux contours bien définis. On remarquera (fig. 44) quelques chromosomes avec des satellites ou des constriction secondaires mais, dans la plupart des cas, la morphologie des chromosomes reste un peu floue.

### 44) *ARNICA LANCEOLATA* Nutt.

$2n = 76$  (fig. 45)

Pré-traitement: colchicine 0,15%, 1½ h Québec. Comté de Montmorency: rochers sur

Figures 42-48. Fig. 42. *Agrimonia striata* Michx., métaphase I,  $n = 28$ , CMP. Fig. 43. *Alchemilla minor* Huds., métaphase,  $2n = 112$ , méristème radiculaire. Fig. 44. *Arisaema atrorubens* (Ait.) Blume, jeune métaphase,  $2n = 56$ , méristème radiculaire. Fig. 45. *Arnica lanceolata* Nutt., métaphase,  $2n = 76$ , méristème radiculaire. Fig. 46. *Aster acuminatus* Michx., métaphase,  $2n = 18$ , méristème radiculaire. Fig. 47. *Aster lateriflorus* (L.) Britt. métaphase,  $2n = 32$ , méristème radiculaire. Fig. 48. *Aster lateriflorus* var. *tenuipes* Wieg., métaphase,  $2n = 32$ , méristème radiculaire.



la rivière Montmorency à env. 10 km au N. de Sainte-Brigitte-de-Laval, 1/07/80, D. Doyon s.n. (QUÉ).

La découverte d'*A. lanceolata* sur la rivière Montmorency, par D. Doyon, est très intéressante et permet d'agrandir au nord du Saint-Laurent, l'aire de distribution de cette espèce. Elle n'était connue, jusqu'à maintenant, que de la péninsule gaspésienne, de quelques sommets du Maine et du New-Hampshire, du nord du Nouveau-Brunswick et de deux stations isolées dans les comtés de Dorchester et de Mégantic (Rousseau, 1974). Provancher (1862), cependant, l'avait mentionnée pour Saint-Joachim (bord de la rivière Sainte-Anne, près des chutes) et la récolte de D. Doyon, dans le même comté, vient étayer l'affirmation de Provancher. Ces deux stations d'*Arnica* (dont l'une semble disparue) sont vraisemblablement des colonies reliques post-glaciaires comme celle du *Salix vestita* Pursh au Saguenay (Cayouette *et al.*, 1972) et celle du *Diapensia lapponica* L. dans Charlevoix (Grandtner, 1978). Il est possible qu'il existe aussi, plus au nord, des colonies d'*Arnica* plus importantes d'où l'espèce pourrait se répandre par transport de graines le long des rivières.

Le nombre chromosomique des plantes de la rivière Montmorency est de  $2n = 76$ , comme chez les individus étudiés par Löve & Löve (1966) au mont Washington et comme chez l'espèce vicariante cordillérienne *A. mollis* Hook. (Strother, 1972; Pojar, 1973; Wolf, 1980). On peut se demander toutefois si les *A. mollis* et *lanceolata* ne devraient pas être considérés comme deux sous-espèces d'un taxon bicentrique. La situation se complique cependant du fait qu'il existe, dans la partie sud de l'aire d'*A. mollis*, des individus à  $2n = 57$  (Wolf, 1980) qui montrent que nous n'avons pas encore en main tous les éléments du problème.

Les chromosomes, observés sur des prophanes avancées, ne possédaient pas des contours parfaitement nets et il n'a pas été possible d'établir un caryogramme complet. On peut noter cependant des chromosomes avec des constriction secondaires, tandis que la position des centromères reste variable (chromosomes métacentriques à télocentriques).

45) *ASTER ACUMINATUS* Michx.

$2n = 18$  (fig. 46)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Dartmouth, lac Albro, boisé ouvert, près du lac, 28/09/80, Kapoor 80-02.

Cette espèce est très fréquente dans les forêts décidues et les fourrés en Nouvelle-Écosse, surtout sur les sols quelque peu secs. Le nombre chromosomique observé,  $2n = 18$ , correspond aux comptages antérieurs de Nelson (1966), Hill & Rogers (1970, 1973), Van Faasen & Sterk (1973), Jones (1980), Semple & Brouillet (1980), effectués sur du matériel du Nouveau-Brunswick, du Québec et de quelques États est-américains: Maine, Vermont, New-Hampshire, New-York.

Sur les 18 chromosomes, deux paires ont des centromères médians, quatre paires des centromères submédiens et trois paires des centromères subterminaux. Une des paires de chromosomes submédiens possède également des constriction secondaires. Ce caryotype est assez semblable à celui de *Solidago Purshii* décrit plus loin dans ce travail.

46) *ASTER LATERIFLORUS* (L.) Britt.

$2n = 32$  (fig. 47)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Halifax, campus de l'Université St. Mary's, sol sec à l'ombre de bouleaux, 25/09/80, Kapoor 80-04.

*A. lateriflorus* est abondant en Nouvelle-Écosse dans les champs abandonnés, les fourrés, les bordures des chemins et des bois. C'est une espèce variable mais l'étude présente se rapporte à des individus typiques et à une variété particulière (voir le n° 47). Le taxon le plus fréquent et le plus représentatif est bas et diffusément ramifié avec des feuilles petites, dentées, pubescentes en dessous, le long de la nervure centrale.

Le nombre chromosomique observé,  $2n = 32$ , comprend 24 chromosomes possédant des centromères submédiens et 8 de centromères subterminaux. Aucun chromosome avec des constriction secondaires n'a été aperçu dans le caryotype. L'existence de races chromosomiques chez cette espèce, démontrée par les comptages de Van Faasen (1963) au Michigan ( $n = 8, 16, 24$ ) et par ceux de Semple & Brouillet (1980) dans différentes régions de l'est des États-Unis et du Canada ( $2n = 16, 32$ ), est intéressante et devrait donner lieu à une étude plus approfondie. Si on ajoute à ces résultats les comptages tétraploïdes ( $2n = 32$ ) de Mulligan (1967), Van Faasen & Sterk (1973), Anderson *et al.* (1974), Jones (1980) et celui qui est rapporté dans le présent travail, on constate que la race tétraploïde se rencontre dans les provinces et les États suivants: Ont., N.-É., N.-H., Mass., Conn., N.-J., Penn. tandis que des individus diploïdes ( $2n = 16$ ) ont été



récoltés en Ontario, en Nouvelle-Ecosse et dans l'État de New-York. Cette énumération ne tient pas compte des États *tenuipes* en dehors de notre dition ni du var. *tenuipes*. La récolte diploïde de Nouvelle-Ecosse (Semple & Brouillet, 1980) provient de Barney's River Station dans le comté de Pictou.

47) *ASTER LATERIFLORUS* (L.) Britt. var. *TENUIPES* Wieg.

$2n = 32$  (fig. 48)

Nouvelle-Ecosse. Comté d'Halifax: Dartmouth, MicMac Mall Woods, sous-bois humide et tourbeux, 28/09/80, Kapoor 80-05.

Bien qu'il semble exister des formes de passage entre cette variété et la plante typique, les individus extrêmes se reconnaissent aisément par un ensemble de caractères particuliers. Les 32 chromosomes du caryotype montrent une ressemblance générale avec ceux du var. *lateriflorus* mais le nombre des chromosomes subterminaux y est plus élevé (12) tandis que celui des chromosomes submédians y est plus bas (20). Ces différences de structures chromosomiques semblent être responsables des divergences morphologiques de la variété.

La variété *tenuipes* a été aussi étudiée récemment par Jones (1980) qui l'a trouvée tétraploïde ( $2n = 32$ ) au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Ecosse (près de Sackville), au New-Hampshire et au Vermont, mais diploïde ( $2n = 16$ ) en Gaspésie (Rivière-du-Loup). Ces variations chromosomiques, analogues à celles rencontrées chez la variété typique (n° 46), montrent une fois de plus la nécessité d'un examen cytologique approfondi de l'A. *lateriflorus*.

48) *ASTER NOVI-BELGII* L.

$2n = 48$  (fig. 49)

Nouvelle-Ecosse. Comté d'Halifax: Dartmouth, rue Chappell, sur sol sec sous des érables, 17/09/80, Kapoor 80-03.

Cette espèce se rencontre fréquemment dans toute la Nouvelle-Ecosse, à la fin d'août, sur les bords des chemins, les accotements d'autoroutes, dans les endroits humides, les prairies et les terrains abandonnés. Elle est variable et comporte, en plus du taxon typique, des individus aux entrenœuds courts (var. *litoreus* Gray) et même des plantes naines (var. *rosaceus* Rousseau).

Différents nombres chromosomiques ont été signalés chez l'A. *novi-belgii*: Negodi (1938), le premier, compta  $2n = 54$  puis Huziwaru (1941, 1958) rapporta successivement  $n = 25$  et  $2n = 48$  pour des plantes couramment cultivées au Japon, bien que certaines d'entre elles étaient à  $2n = 49$ .

Avers (1954) rapporta  $2n = 18$ , mais les comptages plus récents (Anderson *et al.*, 1974; Jones, 1980; Semple & Brouillet, 1980) indiquent, comme ici,  $2n = 48$  pour du matériel est-américain: Maine, New-Hampshire, Vermont, Connecticut, New-York, Nouveau-Brunswick et Nouvelle-Ecosse (près de Sackville).

Le caryotype de la plante de Dartmouth montre que 38 chromosomes ont des centromères submédians, 6 des centromères subterminaux et 4 des centromères médians. Il n'a pas été possible d'observer des chromosomes avec des constriction secondaires dans le matériel utilisé.

49) *BRACHYELYTRUM ERECTUM* (Schreb.) Beauv.

$n = 11$  (fig. 50)

Québec. Comté de Québec: Sainte-Foy, chemin forestier près du Complexe scientifique, 6/07/72, Gervais 72-14 (QUÉ).

Le nombre chromosomique de cette espèce,  $2n = 22$ , nous était déjà connu par une détermination de Brown (1950) faite sur du matériel du Texas et par des comptages de Bowden (1960) sur des plantes du Wisconsin et d'Ontario appartenant à la variété typique et au var. *septentrionale* Babel, plus glabre, auquel on pourrait rattacher d'ailleurs notre récolte. Le caryotype (fig. 50), observé sur des mitoses polliniques, montre 2 longs chromosomes submétacentriques tandis que les 9 autres sont de taille petite à moyenne avec des centromères médians à subterminaux.

50) *CHELIDONIUM MAJUS* L.

$n = 6$  (fig. 51)

Nouvelle-Ecosse. Comté d'Halifax: Halifax, derrière l'édifice du YMCA, bord de la route, 25/06/77, Kapoor 77-283-1.

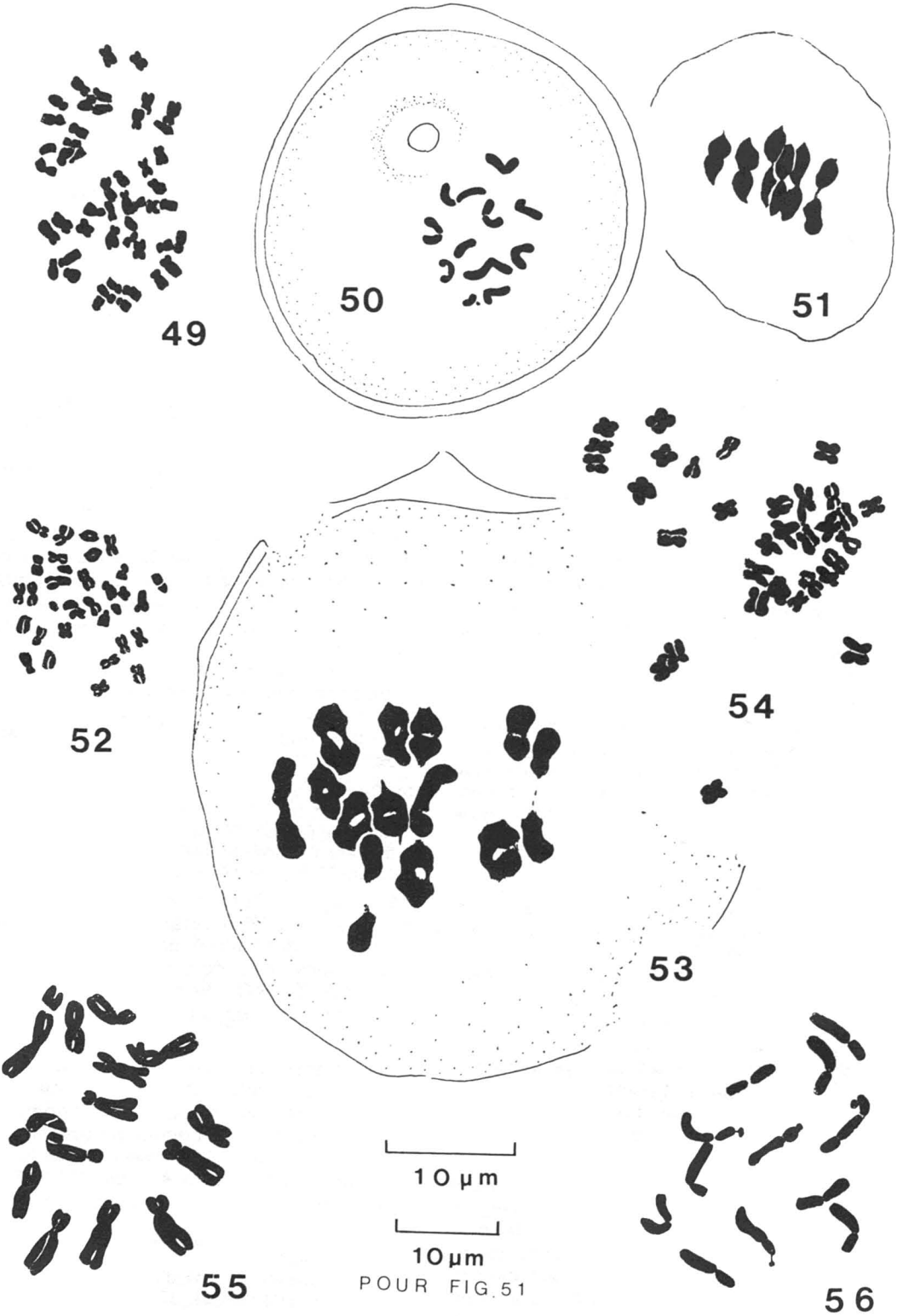
Originaire de l'Europe et de l'Asie tempérée, ce genre de Papavéracées monotypique se rencontre dans le N.E. de l'Amérique comme adventice. Il est commun dans les villes et villages du S.O. de la Nouvelle-Ecosse mais occasionnel dans la partie est de cette province.

Les cellules-mères du pollen montraient 6 bivalents à la métaphase I et une méiose régulière aux autres stades. Ce nombre est en accord avec les comptages antérieurs faits en Europe et en Amérique (voir Darlington & Wylie, 1955; Löve & Löve, 1961; Fedorov, 1969).

51) *COMPTONIA PEREGRINA* (L.) Coult.

$2n = 32$  (fig. 52)

Nouvelle-Ecosse. Comté d'Halifax, Dartmouth, lac Albro, terrain boisé, 13/06/71, Kapoor 71-155-1.



Cette espèce indigène dans le nord-est de l'Amérique est un des arbustes les plus communs et une mauvaise herbe importante dans les bleuetières naturelles en Nouvelle-Écosse (Roland & Smith, 1969). Son nombre chromosomique somatique,  $2n = 32$ , correspond à celui que Stokes (1937) avait trouvé en Illinois et c'est apparemment le seul autre comptage chromosomique signalé pour cette espèce. On y trouve 26 chromosomes avec des centromères submédians, 4 avec des centromères médians et deux avec des centromères subterminaux. Un fragment sphérique surnuméraire a été aperçu aussi, à l'occasion, dans certaines cellules.

52) *GENTIANA LINEARIS* Forel.

$n = 13$  (fig. 53)

Québec. Comté de Montmorency: Parc des Laurentides, Mare du Sault, près de la rivière Montmorency, 13/07/71, Gervais et R. Cayouette 71-163 (QUÉ).

Le nombre chromosomique de cette gentiane,  $n = 13$  ou  $2n = 26$ , a été déterminé déjà par Pringle (1969) sur des individus récoltés dans l'état de New-York (White Lake) et par Rork (1949) sur du matériel d'Ontario (Nipissing Distr.). Le résultat présenté ici confirme ces comptages antérieurs et montre, du moins chez les individus examinés, que la méiose est régulière avec formation de 13 bivalents.

53) *HOUSTONIA CAERULEA* L.

$2n = 32$  (fig. 54)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Halifax Point Pleasant Park, bord de route, 17/06/71, Kapoor 71-159-4.

Cette petite plante vivace croissant par touffes est fréquente près d'Halifax mais occasionnelle dans les autres comtés de la Nouvelle-Écosse. D'après la carte bien documentée de Lewis & Terrel (1962), cette espèce serait généralement diploïde ( $2n = 16$ ) dans la partie sud et sud-ouest de son aire, mais tétraploïde ( $2n = 32$ ) dans le secteur nord-est, à partir de la Virginie où ces auteurs ont rencontré également un individu hexaploïde ( $2n = 48$ ). De fait, le comptage présenté ici et ceux qui ont été rapportés par Stevens (1912) pour le Connecticut, Löve

& Löve (1965, 1966) pour le mont Washington sont tétraploïdes. Une autre détermination chromosomique (Fagerling, 1937) donne le nombre  $2n = 36$  qui reste à être confirmé. Les centromères sont généralement distincts et le caryotype comporte 24 chromosomes submédians et 8 chromosomes médians.

54) *LATHYRUS JAPONICUS* Willd. var. *GLABER* Fern.

$2n = 14$  (fig. 55)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Halifax, Point Pleasant Park, rivage maritime, 17/06/71, Kapoor 71-161-2.

Cette plante s'observe communément le long des côtes sur les sols sablonneux ou graveleux. Le taxon glabre se distingue aisément de la variété pubescente voisine (var. *pellitus* Fern.) et on trouve souvent les deux variétés croissant ensemble en Nouvelle-Écosse. On reconnaît encore d'autres variétés chez cette espèce, à vaste distribution, mais certains auteurs y voient plutôt des sous-espèces. Quoi qu'il en soit, le nombre chromosomique  $2n = 14$  a été relevé chez *L. japonicus* (*L. maritimus* Bigel.) par une quinzaine de chercheurs, dans différents pays, et ces comptages recourent vraisemblablement une bonne partie des variations de l'espèce (les déterminations divergentes,  $2n = 28$  et  $2n = 56$ , réalisées par Tatuno & Kodama (1965), concernent certaines cellules des nodosités des racines). Le var. *glaber* aurait déjà fait l'objet de comptages chromosomiques, par Brightmore & White (1963), sur du matériel d'Angleterre et de Colombie-Britannique.

Le caryogramme de *L. japonicus* comprend 5 paires de chromosomes submédians et deux paires de chromosomes subterminaux. Une des paires de chromosomes submédians possède des constriction secondaires très apparentes.

55) *LEONTODON AUTUMNALIS* L. var. *PRATENSIS* (Link)

Koch

$2n = 12$  (fig. 56)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Point Pleasant Park, bord de route, 17/07/71, Kapoor 71-159A-1.

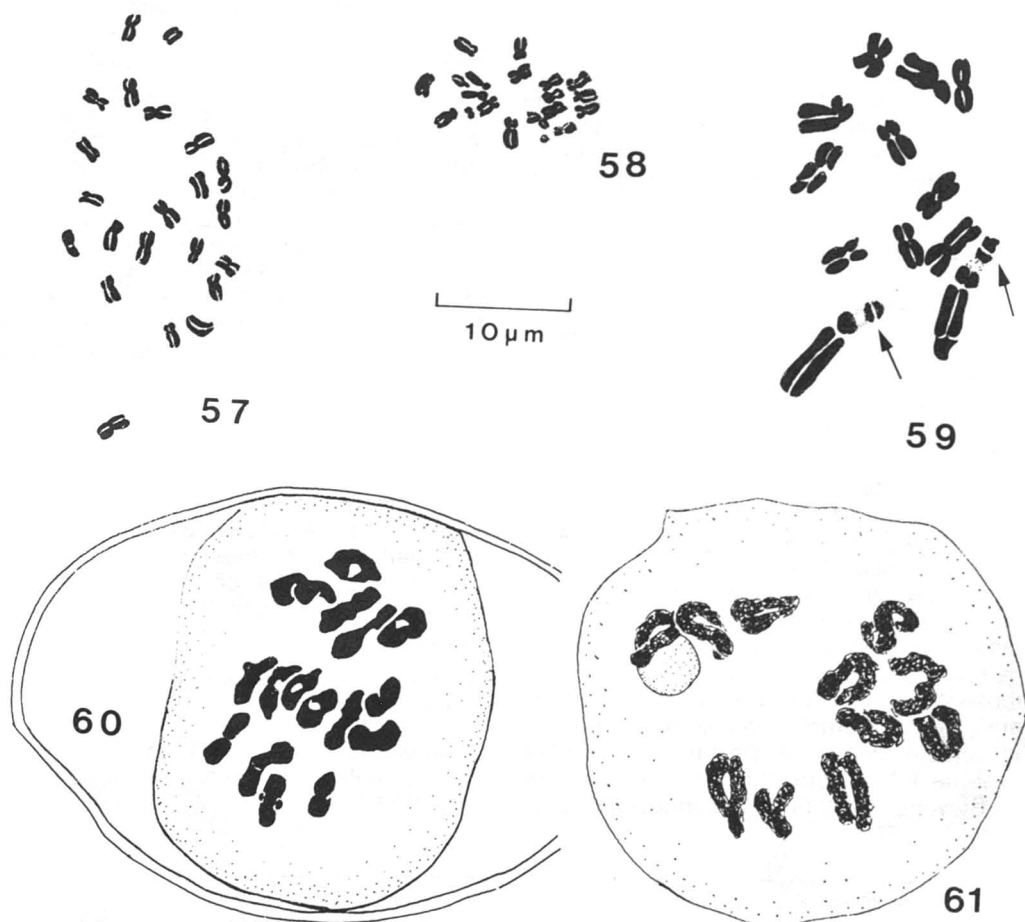
Figures 49-56. Fig. 49. *Aster novi-belgii* L., métaphase,  $2n = 48$ , méristème radiculaire. Fig. 50. *Brachyelytrum erectum* (Schreb.) Beauv. métaphase,  $n = 11$ , mitose pollinique. Fig. 51. *Chelidonium majus* L., métaphase I,  $n = 6$ , CMP. Fig. 52. *Comptonia peregrina* (L.) Coult., métaphase,  $2n = 32$ , méristème radiculaire. Fig. 53. *Gentiana linearis* Forel., métaphase I,  $n = 13$ , CMP. Fig. 54. *Houstonia caerulea* L., métaphase,  $2n = 32$ , méristème radiculaire. Fig. 55. *Lathyrus japonicus* Willd. var. *glaber* Fern., métaphase,  $2n = 14$ , méristème radiculaire. Fig. 56. *Leontodon autumnalis* L. var. *pratensis* (Link) Koch, métaphase,  $2n = 12$ , méristème radiculaire.

Cette variété, aux involucreux et à l'extrémité des pédoncules pubescents, est aussi abondante en Nouvelle-Écosse que la variété typique glabre et les deux taxons semblent se compénétrer (Roland & Smith, 1969).

Plusieurs comptages chromosomiques ont été réalisés sur *L. autumnalis* en Europe, d'où il est originaire, et son nombre a été établi à  $2n = 12$ , bien que Vaarama (*in* Löve & Löve, 1948) rapporte  $2n = 24$  pour la Finlande. D'autres déterminations chromosomiques (Sorsa, 1963) indiquent toutefois que le nombre diploïde,  $2n = 12$ , se rencontre également dans ce pays. Nous ne connaissons qu'un seul comptage chromosomique pour cette espèce dans l'est de l'Amé-

rique, celui de Mulligan (1957) sur du matériel de Saint-Jean (N.-B.).

Les 12 chromosomes (fig. 56) laissent voir des constriction bien distinctes déterminant 5 paires de chromosomes submédians et 1 paire de chromosomes subterminaux. Des constriction secondaires et des satellites se rencontrent sur deux des cinq paires de chromosomes submédians. Ce caryogramme correspond assez bien à celui que Finch (1967) a établi à l'aide de matériel de Grande-Bretagne et d'Europe continentale, où il est démontré que les deux chromosomes à satellites, en particulier, peuvent présenter des variations morphologiques importantes.



Figures 57-61. Fig. 57. *Polygonum cilinode* Michx., métaphase,  $2n = 22$ , méristème radiculaire. Fig. 58. *Solidago Purshii* Porter, métaphase,  $2n = 18$ , méristème radiculaire. Fig. 59. *Tragopogon pratensis* L., métaphase,  $2n = 12$ , méristème radiculaire; les flèches indiquent des satellites portant une constriction. Fig. 60. *Veratrum viride* Ait., métaphase I,  $n = 16$ , CMP. Fig. 61. *Zizia aurea* (L.) Koch, diacinèse,  $n = 11$ , CMP.

Nous ne savons pas si l'étude du var. *pratensis* est inédite ou si certaines déterminations antérieures s'y rattachent.

56) *POLYGONUM CILINODE* Michx.

$2n = 22$  (fig. 57)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: Dartmouth, région boisée du côté du lac Albro, 13/06/71, Kapoor 71-154-1.

Cette plante grimpante vivace se rencontre dans les fourrés secs et les terrains vagues. Le nombre chromosomique somatique  $2n = 22$ , déterminé sur notre matériel, semble nouveau; le seul comptage chromosomique rapporté pour cette espèce (Jaretsky, 1928) indique en effet  $2n = 20$ . Les chromosomes montrent des centromères bien distincts et submédians pour la plupart. On n'y distingue pas de constrictions secondaires.

57) *SOLIDAGO PURSHII* Porter

$2n = 18$  (fig. 58)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax: MicMac Mall Woods, sous-bois humide et tourbeux, 28/09/80, Kapoor 80-01.

Cette espèce, à floraison tardive, ressemble sur le terrain à l'espèce voisine *S. uliginosa* Nutt., tant par son habitat que par sa morphologie, mais se reconnaît à son inflorescence dressée aux capitules disposés en spirale autour des branches. Elle atteint à l'ouest le Manitoba et, au sud, l'Indiana et la Pennsylvanie. En Nouvelle-Écosse, elle est disséminée sporadiquement dans presque toute la province.

Le nombre chromosomique de *S. Purshii*,  $2n = 18$ , confirme les résultats antérieurs de Beaudry & Chabot (1959), Kapoor & Beaudry (1966), Beaudry (1969) sur du matériel récolté au Québec, en Ontario et au Michigan. Il diffère toutefois de certains comptages de Beaudry (1969) réalisés sur des plantes de la baie James, au Québec, qui se sont révélées tétraploïdes avec  $2n = 36$  ou  $2n = 36 + 1$ . Les chromosomes des plantes de la Nouvelle-Écosse possèdent des centromères submédians et ils comportent une paire avec des constrictions secondaires.

58) *TRAGOPOGON PRATENSIS* L.

$2n = 12$  (fig. 59)

Nouvelle-Écosse. Comté d'Halifax, Halifax, rue Robie, extrémité nord, bord du chemin, 22/06/71, Kapoor 71-160-2.

Ce taxon eurasiatique se rencontre communément le long des chemins de fer, sur les talus herbeux et dans les prairies. C'est une mauvaise herbe persistante, à dissémination rapide, commune et embarrassante, en particulier dans le comté de Pictou (Roland & Smith, 1969).

Le nombre chromosomique observé,  $2n = 12$ , concorde avec les comptages rapportés pour cette espèce à l'exception d'une détermination ancienne (Ishikawa, 1916) qui pourrait s'expliquer éventuellement par le bris des satellites de deux chromosomes. Dans l'est de l'Amérique, cette espèce a été étudiée sur du matériel d'Ontario par Ownbey & McCollum (1954) et par Mulligan (1957). Le caryotype est très caractéristique et laisse voir une paire de chromosomes avec des centromères médians, deux paires avec des centromères subterminaux et trois avec des centromères submédians. La plus grande paire de chromosomes subterminaux possède des constrictions secondaires très longues déterminant des satellites marqués eux-mêmes d'une autre constriction (fig. 59, flèches).

59) *VERATRUM VIRIDE* Ait.

$n = 16$  (fig. 60)

Québec. Comté de Lévis: Saint-Romuald, bord de la rivière Etchemin, près de l'autoroute 20, 1/06/71, Gervais et R. Cayouette 71-092 (QUÉ).

Le nombre chromosomique  $n = 16$ , ou  $2n = 32$ , est constant chez les *Veratrum* et les différents taxons des groupes *viride* et *album* L. pourraient bien former, d'après Löve & Löve (1965), des sous-espèces appartenant à une même espèce circumpolaire à aire fragmentée. La sous-espèce *Eschscholtzii* (A. Gray) Löve & Löve serait le chaînon ouest-américain de l'ensemble. Le nombre chromosomique de la sous-espèce *viride*, dans l'est, a été compté déjà sur du matériel du mont Washington par Löve & Löve (1965, 1966) et le résultat rapporté ici confirme ces observations antérieures. Les stades méiotiques examinés étaient réguliers, avec formation de 16 bivalents à la métaphase.

60) *ZIZIA AUREA* (L.) Koch

$n = 11$  (fig. 61)

Québec. Comté de Lévis: Saint-Romuald, talus en haut de la rivière Etchemin, près de l'autoroute 20, 1/06/71, Gervais et R. Cayouette 79-093 (QUÉ).

Le nombre chromosomique de cette ombellifère n'a été compté apparemment que sur des individus de l'état du Mississippi qui possédaient aussi  $n = 11$  chromosomes (Bell & Constance, 1957). Le comptage effectué sur les plantes de Saint-Romuald paraît être la première détermination faite sur du matériel est-américain. La méiose est régulière avec formation de 11 bivalents métaphasiques.

## Remerciements

Le premier auteur de ce travail désire remercier le Conseil national des recherches (Ottawa) et le Comité de la recherche du Conseil de l'Université St. Mary de leur aide financière. Les auteurs ont vivement apprécié d'autre part la collaboration de Mlle U. Grigg pour la récolte du matériel de Nouvelle-Écosse, de Mme M. Gervais pour la dactylographie du manuscrit et du Dr D. Doyon pour les spécimens d'*Arnica lanceolata*.

## Références

- ANDERSON, L.C., D.W. KYHOS, T. MOSQUIN, A.M. POWELL & P.H. RAVEN, 1974. Chromosome numbers in Compositae. IX. *Haploppapus* and other Astereae — Am. J. Bot., 61 : 665-671.
- AVERS, C.J., 1954. Documented chromosome numbers of plants. — Madroño, 12 : 210.
- BEAUDRY, J.R., 1969. Études sur les *Solidago* IX. Une troisième liste des nombres chromosomiques des taxons du genre *Solidago* et de certains genres voisins. — Naturaliste can., 96 : 103-122.
- BEAUDRY, J.R. & D.L. CHABOT, 1959. Studies on *Solidago* IV. The chromosome numbers of certain taxa of the genus *Solidago*. — Can. J. Bot., 37 : 209-228.
- BELL, C.R. & L. CONSTANCE, 1957. Chromosome numbers in Umbelliferae. — Am. J. Bot., 44 : 565-572.
- BENT, F.C., 1969. Chromosome studies in *Habenaria*. — Rhodora, 71 : 541-543.
- BENT, A.E. & E.C. SMITH, 1969. Karyotype analysis of Nova Scotian species of *Streptopus* Michx. (Liliaceae). — Can. J. Genet. Cytol., 11 : 409-413.
- BOWDEN, W.M., 1960. Chromosome numbers and taxonomic notes on northern grasses II. Tribe *Festuceae*. — Can. J. Bot., 38 : 117-131.
- BRIGHTMORE, D. & P.H.F. WHITE, 1963. Biological flora of The British Isles, no. 94. *Lathyrus japonicus* Willd. (*L. maritimus* Bigel.). — J. Ecol., 51 : 795-801.
- BRITTAN, N.H., 1953. Cytotaxonomy of some species of *Agrimonia* L. — Proc. VII internat. bot. Congr. (1950) : 278.
- BROWN, W.V., 1950. A cytological study of some Texas Gramineae. — Bull. Torrey bot. Club, 77 : 63-76.
- CAYOUILLE, R., J. CAYOUILLE & A. ASSELIN, 1972. Études sur la flore du Saguenay V. Présence du *Salix vestita* Pursh à la rivière Shipshaw. — Naturaliste can., 99 : 231-232.
- DARLINGTON, C.D. & A.P. WYLIE, 1955. Chromosome atlas of flowering plants. — George Allen and Unwin Ltd, London, 520 p.
- FAGERLIND, F., 1937. Embryologische, Zytologische und bestäubungsexperimentelle Studien in der Familie Rubiaceae nebst Bemerkungen über einige Polyploiditätsprobleme. — Acta Horti Bergiani, 11 : 195-470.
- FEDOROV, A. (éd.), 1969. Chromosome numbers of flowering plants. — Leningrad, 926 p.
- FINCH, R.A., 1967. Natural chromosome variation in *Leontodon*. — Heredity, 22 : 359-387.
- GERVAIS, C., 1979. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique. I. — Naturaliste can., 106 : 451-461.
- GERVAIS, C., 1981. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique. II. — Naturaliste can., 108 : 143-152.
- GOODWIN, R.H., 1937. The cytogenetics of two species of *Solidago* and its bearing on their polymorphism in nature. — Am. J. Bot., 24 : 425-432.
- GRANDTNER, M.M., 1978. *Diapensia lapponica* L. var. *lapponica* dans le massif de St-Urbain, Charlevoix-ouest, Québec. — Naturaliste can., 105 : 115-116.
- HILL, L.M., & O.M. ROGERS, 1970. Chromosome numbers of *Aster Blakei* and *A. nemoralis*. — Rhodora, 72 : 437-438.
- HILL, L.M., & O.M. ROGERS, 1973. Chemical, cytological and genetic evidence for the hybrid origin of *Aster Blakei* (Porter) House. — Rhodora, 75 : 1-25.
- HUZIWARA, Y., 1941. On the chromosomes of some species of *Aster* from foreign countries. — Botany Zool., Tokyo, 9 : 75-76.
- HUZIWARA, Y., 1958. Karyotype analysis in some genera of Compositae. V. The chromosomes of American *Aster* species. — Jap. J. Genet., 33 : 129-137.
- ISCHIKAWA, M., 1916. A list of the number of chromosomes. — Bot. Mag., (Tokyo), 30 : 404-448.
- JARETZKY, R., 1928. Histologische und Karyologische Studien an Polygonaceen. — Jb. Wiss. Bot., 69 : 357-490.
- JONES, A.G., 1980. Data on chromosome numbers in *Aster* (Asteraceae), with comments on the status and relationships of certain North American species. — Brittonia 32 : 240-261.
- KAPOOR, B.M., 1972. In A. Löve, IOPB Chromosome number reports. XXXV. — Taxon, 21 : 161-166.
- KAPOOR, B.M., 1978. Supernumerary chromosomes of some species of *Solidago* and a related taxon. — Caryologia, 31 : 315-330.
- KAPOOR, B.M., & J.R. BEAUDRY, 1966. Studies on *Solidago* VII. The taxonomic status of the taxa *Brachychaeta*, *Brintonia*, *Chrysoma*, *Euthamia*, *Oligoneuron*, and *Petradoria* in relation to *Solidago*. — Can. J. Genet. Cytol., 8 : 422-443.
- LEWIS, W.H. & E.E. TERRELL, 1962. Chromosomal races in eastern North American species of *Hedyotis* (*Houstonia*). — Rhodora, 64 : 313-323.

- LÖVE, Á & D. LÖVE, 1961. Chromosome numbers of Northwest and Central European plant species. — *Op. bot. Soc. bot. Lund.*, 5: 1-581.
- LÖVE, Á & D. LÖVE, 1965. Taxonomic remarks on some American alpine plants. — *Univ. Colo. Stud. Ser. Biol.*, 17: 1-43.
- LÖVE, Á & D. LÖVE, 1966. Cytotaxonomy of the alpine vascular plants of Mount Washington. — *Univ. Colo. Stud. Ser. Biol.*, 24: 1-74.
- MARCHANT, C.J., 1972. Chromosome variation in Araceae. IV. — *Kew Bull.*, 26: 395-404.
- MULLIGAN, G.A., 1957. Chromosome numbers of Canadian weeds. I. — *Can. J. Bot.*, 35: 779-789.
- MULLIGAN, G.A., 1967. *In* Á Löve, IOPB Chromosome number reports. XL. — *Taxon*, 16: 215-222.
- NEGODI, G., 1938. *Cariologia del genere Aster L. (Compositae)*. I. Contributo. — *Arch. Bot. (Forli)*, 14: 185-216.
- NELSON, A.P., 1966. *In* Á. Löve, IOPB Chromosome number reports. VII. — *Taxon*, 15: 155-163.
- OWNBEY, M. & G.D. McCOLLUM, 1954. The chromosomes of *Tragopogon*. — *Rhodora*, 56: 7-21.
- POJAR, J., 1973. Levels of polyploidy in four vegetation types of south western British Columbia. — *Can. J. Bot.*, 51: 621-628.
- PRINGLE, J.S., 1969. Documented plant chromosome numbers. 1. — *Sida*, 3: 350-351.
- PROVANCHER, L., 1862. *Flore canadienne*. — J. Darveau, Québec, 843 p.
- ROLAND, A.E. & E.C. SMITH, 1969. The flora of Nova Scotia. — *Nova Scotia Museum, Halifax*, 743 p.
- RORK, C.L., 1949. Cytological studies in the Gentianaceae. — *Am. J. Bot.*, 36: 687-703.
- ROUSSEAU, C., 1974. Géographie floristique du Québec — Labrador. Distribution des principales espèces vasculaires. — *Travaux et documents du Centre d'Études nordiques*, Les Presses de l'Université Laval, Québec, 799 p.
- SEMPLE, J.C. & L. BROUILLET, 1980. Chromosome numbers and satellite chromosome morphology in *Aster* and *Lasallea*. — *Am. J. Bot.*, 67: 1027-1039.
- SORSA, V., 1963. Cytological observations in four species of Compositae in Finland. — *Arch. Soc. Zool. Bot. Fennicae «Vanamo»*, 18: 65-68.
- STEVENS, N.E., 1912. Observations on heterostylous plants. — *Bot. Gaz.*, 53: 277-308.
- STOKES, J., 1937. Cytological studies in the Myricaceae. — *Bot. Gaz.*, 99: 387-399.
- STROTHER, J.L., 1972. Chromosome studies in Western North American Compositae. — *Am. J. Bot.*, 59: 242-247.
- TATUNO, S. & A. KODAMA, 1965. Cytological studies on root nodules of some species in Leguminosae. 1. — *Bot. Mag. (Tokyo)*, 78: 503-509.
- VAARAMA, A., 1948. *In* A Löve & D. Löve. Chromosome numbers of northern plant species. — *Icel. Univ. Inst. App. Sci. Dept. Agric. Rep. B 3*: 1-131.
- VAN FASSEN, P., 1963. Cytotaxonomic studies in Michigan Asters. — *Mich. Bot.*, 2: 17-27.
- VAN FAASEN, P. & F.F. STERK, 1973. Chromosome numbers in *Aster*. — *Rhodora*, 75: 26-33.
- WOLF, S.J., 1980. Cytogeographical studies in the genus *Arnica* (Compositae: Senecioneae). 1. — *Am. J. Bot.*, 67: 300-308.





## VALEUR NUTRITIVE DES FOINS DE LUZERNE (IROQUOIS), DE BROME (SARATOGA) ET DE FLÉOLE (TIMFOR ET CHAMP) POUR LES MOUTONS

J. R. SEOANE et P. GERVAIS

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation,  
Université Laval, Québec G1K 7P4

### Résumé

La valeur nutritive de deux cultivars de fléole des prés (Timfor et Champ), d'un cultivar de brome (Saratoga) et d'un cultivar de luzerne (Iroquois), servis sous forme de foin, a été déterminée en utilisant vingt-huit moutons mâles (38,3 kg poids moyen). On a récolté les graminées au stade *pleine épiaison* et la luzerne au stade *10% en fleur*. La composition chimique des graminées a été très différente de celle de la luzerne, spécialement pour la protéine, les extractifs non azotés et les constituants des parois cellulaires. La digestibilité apparente de la plupart des nutriments a été la plus élevée dans le brome Saratoga, ce qui lui a procuré la plus forte valeur UNT (62,1%). La luzerne Iroquois a eu la digestibilité apparente la plus haute pour la protéine (71,9%), le contenu cellulaire (68,8%) et la lignine (6,3%), mais la valeur UNT la plus faible (54,8%). Les fléoles Timfor et Champ ont montré des valeurs UNT intermédiaires (58,8 et 58,3% respectivement). La consommation journalière en matière sèche de la luzerne Iroquois ( $90,41 \text{ g/kg}^{0,75}$ ) a été plus élevée ( $P < 0,01$ ) que celle du brome Saratoga ( $80,38 \text{ g/kg}^{0,75}$ ) et cette dernière plus haute ( $P < 0,01$ ) que celles des fléoles Timfor et Champ ( $62,87$  et  $58,69 \text{ g/kg}^{0,75}$  respectivement). La valeur nutritive des foins exprimée en UNT ingérées a été similaire pour la luzerne et le brome ( $49,52$  et  $49,91 \text{ g/kg}^{0,75}$ /jour respectivement), mais supérieure à celle des fléoles Timfor et Champ ( $36,98$  et  $34,23 \text{ g/kg}^{0,75}$ /jour respectivement).

### Abstract

Twenty eight male sheep (38.3 kg average body weight) were used to determine the nutritive value of two cultivars of timothy (Timfor and Champ), one of bromegrass (Saratoga) and one of alfalfa (Iroquois) fed as hays. The stage of growth at harvest was full head emergence for the grasses and 10% bloom for the alfalfa. The chemical composition of the grasses was quite different from that of alfalfa, specially for protein, nitrogen free extract and cell wall constituents. Apparent digestibility values for most nutrients were higher in the bromegrass, therefore resulting in the highest TDN value (62.1%). Iroquois alfalfa had the highest apparent digestion coefficients for protein (71.9%), cell contents (68.8%) and lignin (6.3%), but the lowest TDN value (54.8%). Timfor and Champ timothies had intermediate TDN values (58.8 and 58.3% respectively). Daily dry matter intake of alfalfa ( $90.41 \text{ g/kg}^{0.75}$ ) was higher ( $P < 0.01$ ) than that of bromegrass ( $80.38 \text{ g/kg}^{0.75}$ ) which in turn was higher ( $P < 0.01$ ) than that of Timfor and Champ timothies ( $62.87$  and  $58.69 \text{ g/kg}^{0.75}$  respectively). The nutritive value of the hays, expressed as TDN intake, was similar for the alfalfa and bromegrass ( $49.52$  and  $49.91 \text{ g/kg}^{0.75}$ /day respectively) while Timfor and Champ timothies had the lowest values ( $36.98$  and  $34.23 \text{ g/kg}^{0.75}$ /day respectively).

### Introduction

Il n'existe que peu d'information sur la valeur nutritive *in vivo* des plantes fourragères cultivées au Québec; toutefois, l'évolution chimique selon le stade de croissance des différentes espèces a été amplement dé-

crité par Gervais et ses collaborateurs (Rochat & Gervais, 1975; Gervais & St-Pierre, 1979; Bertrand & Gervais, 1979; Darisse *et al.*, 1980). Ces auteurs concluent que, pour obtenir un fort rendement annuel d'un foin de qualité, la récolte doit avoir lieu au début du stade floral pour la luzerne et du stade

épiaison au stade *floraison* pour les graminées.

La présente étude vise à déterminer la valeur nutritive de quatre plantes fourragères récoltées aux stades de maturité recommandés et servies sous forme de foin aux moutons. On a donc mesuré la composition chimique, la digestibilité des constituants chimiques et l'ingestibilité des foin à l'aide de moutons en croissance.

### Méthodologie expérimentale

#### LES FOURRAGES

L'étude a porté sur la luzerne Iroquois, le brome Saratoga et les fléoles Timfor et Champ récoltés à la Station agronomique de l'Université Laval, Saint-Augustin, Québec. Les graminées ont été ensemencées le 25 mai 1978 sur une argile Platon préalablement fertilisée avec 390 kg/ha de 10-20-30. En 1979, le champ a reçu 250 kg/ha de 28-13-13 au début de mai et 330 kg/ha de 34-0-0 après la première coupe. L'année de l'expérience, en 1980, on a épandu au printemps 200 kg/ha de 28-13-13. Les trois graminées ont été récoltées au stade *pleine épiaison* : le 7 juin pour le brome Saratoga, le 19 juin pour la fléole Champ et le 21 juin pour la fléole Timfor.

La luzerne Iroquois a été semée le 30 mai 1978 sur un loam Tilly enrichi de 600 kg/ha de 8-16-16. Au printemps des années 1979 et 1980, on a fertilisé le champ avec 500 kg/ha de 0-15-30 B. La récolte de la luzerne a eu lieu le 21 juin de 1980 au stade *10% en fleur*.

Chaque fourrage a été partiellement séché au sol, pressé, ventilé en grange jusqu'à une siccité de 85 à 90% et haché en brins de 3 à 5 cm de longueur afin de minimiser le tri par les moutons.

#### ÉTUDES DE DIGESTIBILITÉ

On a utilisé vingt-huit béliers, 12 Finnish-Landrace, 8 Suffolk et 8 Suffolk X Finnish-Landrace, d'un âge moyen de 204 jours et d'un poids moyen de 38,3 kg. Les moutons ont été divisés en quatre groupes, et chaque groupe de 3 Finnish-Landrace, 2 Suffolk et 2 Suffolk X Finnish-Landrace a été assigné à un fourrage spécifique. Les animaux ont été gardés dans une salle à température contrôlée ( $20 \pm 2$  °C), en cages individuelles permettant la collecte des fèces, et avaient de l'eau continuellement à leur disposition.

L'expérience a duré cinq semaines. La première semaine a servi à habituer les moutons à leur milieu et à la routine d'alimentation et de régie. Au cours des deuxième et troisième semaines, on a alimenté les moutons à volonté, deux fois par jour, pour permettre la détermination de l'ingestion volontaire de chaque foin à l'étude. Durant les quatrième et cinquième semaines, les foin ont été servis sur une base restreinte (80 g de foin frais/kg<sup>0.75</sup>). La quatrième semaine a été utilisée pour habituer les moutons au régime de la cinquième semaine, semaine consacrée à la collecte des données pour déterminer les coefficients de digestibilité. On a recueilli les fèces à l'aide de sacs de polyéthylène collés autour de l'orifice anale de chaque mouton. Des échantillons représentatifs des foin, des refus et des fèces séchées ont été conservés dans des bouteilles en verre pour analyses ultérieures.

#### ANALYSES

On a séché les échantillons dans une étuve à 100 °C durant 12 heures pour la détermination de la matière sèche. L'azote total a été obtenu par le procédé macro-Kjeldahl en utilisant l'appareil KjellFoss 16210 (N. Foss Electric, Denmark). On a déterminé les matières grasses, la fibre brute et les cendres selon les techniques recommandées par l'A.O.A.C. (1970), l'énergie au moyen d'une bombe calorimétrique adiabatique Parr et les constituants des parois cellulaires d'après la méthode décrite par Goering & Van Soest (1970).

Les données expérimentales recueillies ont été traitées statistiquement par analyses de variance, corrélations et tests de Duncan (Steel & Torrie, 1960).

### Résultats et discussion

#### ANALYSES CHIMIQUES DES FOURRAGES

Les analyses chimiques montrent des différences significatives nombreuses entre les quatre fourrages (tableau I). La luzerne diffère significativement du brome et des fléoles pour chacun des paramètres énumérés au tableau I, sauf pour l'énergie dont la quantité est la même que celle de la fléole Champ. Le brome diffère significativement des deux fléoles pour chacun des paramètres rapportés. Les deux fléoles affichent une teneur similaire en fibre brute, extractifs non azotés, contenu cellulaire et parois cellulaires, mais une teneur significativement différen-

TABLEAU I  
Analyses chimiques des foins\*

	<i>Luzerne IROQUOIS</i>	<i>Brome SARATOGA</i>	<i>Fléole TIMFOR</i>	<i>Fléole CHAMP</i>	$S_{\bar{x}}$
Énergie, Kj/g	18,9 <sup>b</sup>	18,8 <sup>a</sup>	19,1 <sup>c</sup>	18,9 <sup>b</sup>	0,02
Protéine, %	19,3 <sup>d</sup>	11,2 <sup>c</sup>	10,4 <sup>b</sup>	9,3 <sup>a</sup>	0,12
Matières grasses, %	1,6 <sup>a</sup>	2,2 <sup>b</sup>	2,5 <sup>c</sup>	2,7 <sup>d</sup>	0,07
Fibre brute, %	32,1 <sup>b</sup>	30,9 <sup>a</sup>	36,7 <sup>c</sup>	37,4 <sup>c</sup>	0,25
Extractif non-azoté, %	37,7 <sup>a</sup>	47,8 <sup>c</sup>	43,9 <sup>b</sup>	43,9 <sup>b</sup>	0,23
Contenu cellulaire, %	53,7 <sup>c</sup>	41,9 <sup>b</sup>	29,1 <sup>a</sup>	28,7 <sup>a</sup>	0,29
Parois cellulaires (NDF), %	46,3 <sup>a</sup>	58,1 <sup>b</sup>	70,9 <sup>c</sup>	71,3 <sup>c</sup>	0,29
Complexe ligno-cellulosique (ADF), %	36,7 <sup>b</sup>	33,6 <sup>a</sup>	40,2 <sup>c</sup>	41,8 <sup>c</sup>	0,26
Lignine (ADL), %	7,9 <sup>d</sup>	3,5 <sup>a</sup>	4,3 <sup>b</sup>	4,9 <sup>c</sup>	0,11
Hémicellulose, %	9,6 <sup>a</sup>	24,5 <sup>b</sup>	30,7 <sup>d</sup>	29,5 <sup>c</sup>	0,25
Cellulose, %	28,9 <sup>a</sup>	30,1 <sup>b</sup>	35,9 <sup>c</sup>	36,9 <sup>d</sup>	0,23
Cendres, %	9,2 <sup>d</sup>	7,9 <sup>c</sup>	6,5 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>	0,05

\* = Base matière sèche

$S_{\bar{x}}$  = Erreur type

a-d = Les données dans la même rangée suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement ( $P < 0,05$ ).

te l'une de l'autre pour tous les autres constituants.

La teneur en énergie brute de la fléole Timfor a été la plus élevée (19,1 KJ/g), suivie de celle de la fléole Champ et de la luzerne (18,9 KJ/g) et du brome (18,8 KJ/g). Même si ces valeurs sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ), on peut considérer qu'à toutes fins pratiques la teneur énergétique des fourrages se situait aux environs de 19,0 KJ/g et ne variait que légèrement.

La teneur en protéines a fluctué de 9,3% pour la fléole Champ à 19,3% pour la luzerne Iroquois. Le brome contenait plus de protéines (11,2%) que les fléoles. La teneur en protéines de la luzerne Iroquois a été sensiblement la même que celle d'autres cultivars de cette légumineuse récoltés au même stade de croissance et au même site (Bertrand & Gervais, 1979). Le brome Saratoga a montré une teneur en protéines plus faible que celle déjà rapportée pour ce même cultivar au stade *épiaison* (Rochat & Gervais 1975; Seoane *et al.*, 1981b). Toutefois, la teneur protéique des fléoles rejoint celle d'études précédentes (Rochat & Gervais, 1975; Gervais & St-Pierre, 1979; Côté, 1981; Seoane *et al.*, 1981a, 1981b).

Le pourcentage de matières grasses a varié significativement d'un cultivar à l'autre, passant de 1,6% dans la luzerne Iroquois à 2,7% dans la fléole Champ; ces valeurs sont de même grandeur que celles ob-

tenues antérieurement (Rochat & Gervais, 1975; Bertrand & Gervais, 1979; Seoane *et al.*, 1981b).

Le brome a montré les valeurs les plus faibles pour la fibre brute (30,9%), le complexe lignocellulosique (33,6%) et la lignine (3,5%) et la valeur la plus forte pour les extractifs non azotés (47,8%). Les fléoles ont montré les teneurs les plus élevées en fibre brute, parois cellulaires, complexe lignocellulosique, hémicellulose et cellulose, et les plus basses en contenu cellulaire et cendres. La luzerne, d'autre part, a présenté les valeurs les plus élevées en lignine (7,9%), contenu cellulaire (53,7%) et cendres (9,2%) et les plus faibles en cellulose (28,9%), hémicellulose (9,6%), parois cellulaires (46,3%) et extractifs non azotés (37,7%).

#### COEFFICIENTS DE DIGESTIBILITÉ

La digestibilité apparente des divers constituants des deux fléoles a été similaire (tableau II), sauf pour la lignine et la cellulose; la digestibilité de la première a été plus faible et celle de la seconde plus élevée dans le cultivar Timfor que dans le cultivar Champ. Comparativement aux autres espèces, les fléoles se sont révélées les moins digestibles au point de vue protéine, extractifs non azotés, contenu cellulaire et lignine.

Le brome a donné les coefficients de digestibilité les plus élevés pour la matière sè-

TABLEAU II

Coefficients de digestibilité et unités nutritives totales (UNT) des foins

Digestibilité apparente (%)	Luzerne IROQUOIS	Brome SARATOGA	Fléole TIMFOR	Fléole CHAMP	S $\bar{x}$
Matière sèche	57,6 <sup>a</sup>	65,6 <sup>c</sup>	60,2 <sup>b</sup>	59,6 <sup>b</sup>	0,44
Énergie	56,6 <sup>a</sup>	62,7 <sup>b</sup>	57,9 <sup>a</sup>	57,1 <sup>a</sup>	0,52
Protéine	71,9 <sup>b</sup>	58,6 <sup>a</sup>	56,8 <sup>a</sup>	57,4 <sup>a</sup>	0,69
Matières grasses	19,8 <sup>a</sup>	47,4 <sup>b</sup>	53,4 <sup>c</sup>	53,5 <sup>c</sup>	1,73
Fibre brute	43,6 <sup>a</sup>	65,3 <sup>c</sup>	63,4 <sup>bc</sup>	62,0 <sup>b</sup>	0,61
Extractif non-azoté	69,6 <sup>b</sup>	69,0 <sup>b</sup>	60,6 <sup>a</sup>	60,4 <sup>a</sup>	0,52
Contenu cellulaire	68,8 <sup>c</sup>	65,5 <sup>b</sup>	50,7 <sup>a</sup>	52,0 <sup>a</sup>	0,77
Parois cellulaires (NDF)	44,8 <sup>a</sup>	65,6 <sup>c</sup>	64,1 <sup>bc</sup>	62,8 <sup>b</sup>	0,69
Complexe ligno-cellulosique (ADF)	44,4 <sup>a</sup>	60,3 <sup>c</sup>	56,5 <sup>b</sup>	56,1 <sup>b</sup>	0,78
Lignine (ADL)	6,3 <sup>b</sup>	- 0,3 <sup>b</sup>	-25,2 <sup>a</sup>	- 1,5 <sup>b</sup>	4,41
Hémicellulose	46,0 <sup>a</sup>	72,9 <sup>b</sup>	73,8 <sup>b</sup>	72,3 <sup>b</sup>	1,22
Cellulose	54,7 <sup>a</sup>	67,3 <sup>c</sup>	65,9 <sup>c</sup>	63,8 <sup>b</sup>	0,68
Cendres	34,7 <sup>a</sup>	60,8 <sup>c</sup>	47,9 <sup>b</sup>	47,6 <sup>b</sup>	2,16
Unités nutritives totales (UNT)	54,8 <sup>a</sup>	62,1 <sup>c</sup>	58,8 <sup>b</sup>	58,3 <sup>b</sup>	0,38

S $\bar{x}$  = Erreur typea-c = Les données dans la même rangée suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement ( $P < 0,05$ ).

che (65,6%), l'énergie (62,7%), la fibre brute (65,3%), les parois cellulaires (65,6%), le complexe lignocellulosique (60,3%), la cellulose (67,3%) et les cendres (60,8%), ce qui résulte en la valeur unités nutritives totales (UNT) la plus élevée (62,1%). La luzerne a montré des coefficients de digestibilité supérieurs seulement pour la protéine (71,9%), le contenu cellulaire (68,8%) et la lignine (6,3%), apportant ainsi une valeur en UNT inférieure (54,8%) à celle des autres foins. La même relation en UNT pour ces trois types de foin a déjà été rapportée par Seoane et

*al.* (1981b) : valeur la plus haute pour le brome, la plus basse pour la luzerne et intermédiaire pour la fléole.

## INGESTION VOLONTAIRE DES FOINS

Les deux fléoles ont été ingérées à un taux nettement inférieur à celui du brome et de la luzerne (tableau III). L'ingestion de la luzerne Iroquois (90,4 g/kg<sup>0.75</sup>) a été plus élevée que celle consignée antérieurement pour la luzerne Saranac (76,4 g/kg<sup>0.75</sup>) récoltée à un stade de croissance comparable (Seoane *et al.*, 1981b).

TABLEAU III

Ingestion volontaire des foins\*

Ingestion/jour	Luzerne IROQUOIS	Brome SARATOGA	Fléole TIMFOR	Fléole CHAMP	S $\bar{x}$
M.S. g/100 g poids	3,70 <sup>b</sup>	3,29 <sup>b</sup>	2,59 <sup>a</sup>	2,42 <sup>a</sup>	0,16
M.S. g/kg <sup>0.75</sup>	90,41 <sup>b</sup>	80,38 <sup>b</sup>	62,87 <sup>a</sup>	58,69 <sup>a</sup>	3,06
M.S. digestible, g/kg <sup>0.75</sup>	52,11 <sup>b</sup>	52,73 <sup>b</sup>	37,87 <sup>a</sup>	35,02 <sup>a</sup>	1,94
Énergie, KJ/kg <sup>0.75</sup>	1692,8 <sup>c</sup>	1492,0 <sup>b</sup>	1184,1 <sup>a</sup>	1099,9 <sup>a</sup>	57,75
Énergie digestible, KJ/kg <sup>0.75</sup>	958,2 <sup>b</sup>	936,0 <sup>b</sup>	686,9 <sup>a</sup>	628,7 <sup>a</sup>	36,17
Parois cellulaires, g/kg <sup>0.75</sup>	41,88 <sup>a</sup>	46,66 <sup>a</sup>	44,52 <sup>a</sup>	41,87 <sup>a</sup>	1,74
U.N.T., g/kg <sup>0.75</sup>	49,52 <sup>b</sup>	49,91 <sup>b</sup>	36,98 <sup>a</sup>	34,23 <sup>a</sup>	1,83

\* = Base matière sèche

S $\bar{x}$  = Erreur typea-c = Les données dans la même rangée suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement ( $P < 0,05$ ).

Les différences entre les fourrages disparaissent, cependant, si on ne considère l'ingestion qu'en fonction des grammes de parois cellulaires ingérées par unité de poids métabolique. En effet, la teneur en parois cellulaires a été négativement corrélée avec l'ingestion de matière sèche ( $r = -0,99, P < 0,01$ ). Tous les fourrages ont été ingérés à un taux qui variait entre 41,87 et 46,66 g de parois cellulaires par  $\text{kg}^{0,75}$ , ce qui corrobore les résultats de Mertens (1973).

La valeur nutritive des foins étudiés peut être exprimée soit comme « matière sèche digestible ingérée », « énergie digestible ingérée » ou comme « unités nutritives totales ingérées ». Dans tous les cas, le brome et la luzerne ont présenté des valeurs nutritives similaires et supérieures à celles des fléoles. Nous croyons, cependant, que la valeur nutritive d'un fourrage serait le mieux exprimée par l'expression *unités nutritives totales ingérées* puisque, de cette façon, on tient compte des différents nutriments composant les UNT ainsi que de la quantité ingérée.

Les résultats de cette étude indiquent qu'un fourrage d'excellente qualité ingéré à un taux élevé aurait une valeur nutritive d'environ 50 g UNT ingérées/ $\text{kg}^{0,75}$ /jour. Un fourrage de qualité moyenne ingéré à un taux moyen aurait une valeur nutritive d'environ 35 g UNT ingérées/ $\text{kg}^{0,75}$ /jour. Il faut noter, cependant, que ces résultats s'appliquent aux ovins et pourraient être différents pour d'autres espèces animales.

### Remerciements

Les auteurs remercient N. Seoane pour la correction du manuscrit, F. Giguère et J.P. Huot pour leur assistance technique et le Conseil des recherches et services agricoles du Québec pour l'aide financière apportée à la réalisation de cette étude (Subvention n° LA-79-809).

### Références

- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, 1970. Official methods of analysis. — 11 th Ed., AOAC, Washington, DC.
- BERTRAND, J.F. & P. GERVAIS, 1979. Évolution du rendement et de la composition chimique de la luzerne (*Medicago sativa* L.) avec l'âge. — *Naturaliste can.*, 106: 463-470.
- CÔTÉ, M., 1981. Évaluation de la valeur nutritive à deux stades de maturité de cultivars de fléole et de brome par deux méthodes de laboratoire. — Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 124 p.
- DARISSE, J.P.F., P. GERVAIS & J.C. ST-PIERRE, 1980. Influence du stade de croissance sur le rendement et la composition chimique de deux cultivars de la fléole des prés, du brome et du dactyle. — *Naturaliste can.*, 107: 55-62.
- GERVAIS, P. & J.C. ST-PIERRE, 1979. Influence du stade de croissance à la première récolte sur le rendement, la composition chimique et les réserves nutritives de la fléole des prés. — *Can. J. Pl. Sci.*, 59: 177-183.
- GOERING, H.K. & P.J. VAN SOEST, 1970. Forage fiber analyses. — USDA Agric. Handbook no. 379, Washington, DC, 20 p.
- MERTENS, D.R., 1973. Application of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants. — Ph.D. thesis, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- ROCHAT, E. & P. GERVAIS, 1975. Évolution de la composition chimique du brome, de la fléole et du dactyle au cours du premier cycle de végétation. — *Naturaliste can.*, 102: 825-833.
- SEOANE, J.R., M.C. MORENO & P. GERVAIS, 1981a. Évaluation nutritionnelle de six cultivars de la fléole des prés utilisés dans l'alimentation des ovins. — *Naturaliste can.*, 108: 263-269.
- SEOANE, J.R., M. CÔTÉ, P. GERVAIS & J.P. LAFOREST, 1981b. Prediction of the nutritive value of alfalfa (Saranac), bromegrass (Saratoga) and timothy (Champ, Climax, Bounty) fed as hay to growing sheep. — *Can. J. Anim. Sci.*, 61: 403-413.
- STEEL, R.G.D. & J.R. TORRIE, 1960. Principles and procedures of statistics. — McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 481 p.



## **EFFET D'APPORT DE POTASSIUM ET DE MAGNÉSIUM SUR LE RENDEMENT ET LA NUTRITION MINÉRALE DE LA POMME DE TERRE ET DU MAÏS-ENSILAGE<sup>1</sup>**

M. GIROUX

Service de recherche en sols,  
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec,  
2700 Einstein, Sainte-Foy, Québec G1P 3W8

### **Résumé**

L'effet de la fertilisation potassique et magnésienne sur le rendement de cinq champs de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) et trois de maïs-ensilage (*Zea mays* L.) a été étudié. Le dispositif a comporté quatre doses de potassium (0-240 kg/ha de K) et 4 doses de magnésium (0-80 kg/ha de Mg) en combinaison factorielle. L'engrais a été appliqué en bande au moment de la plantation pour la pomme de terre et à la volée au moment du semis pour le maïs-ensilage. La pomme de terre n'a pas répondu aux apports de magnésium dans les sols Fourchette, Lapointe, Bourget et Parent renfermant entre 6 et 35  $\mu\text{g}$  Mg/g de sol bien que des concentrations aussi basses que 0,12% aient été mesurées dans le pétiole. Par contre, le maïs-ensilage cultivé sur le loam sableux Achigan renfermant 25  $\mu\text{g}$  Mg/g de sol a accru son rendement de 14% suite à un apport de 80 kg/ha de Mg.

La fumure potassique a un effet assez faible sur le rendement de ces deux cultures. L'apport de cette fumure tend à produire une augmentation de rendement de 10 à 15%, exception faite du sol Fourchette où l'accroissement de rendement de la pomme de terre est de 26%.

En raison d'une réponse plutôt faible à la fumure K et Mg, aucune relation satisfaisante n'a été obtenue entre le rendement et la concentration de K et Mg dans les tissus pour l'ensemble des sites. Une relation étroite a toutefois été obtenue entre les doses appliquées et la concentration en K et Mg dans le pétiole de la pomme de terre et dans la feuille de l'épi du maïs-ensilage. L'effet du potassium sur l'absorption du magnésium s'est montré hautement significatif. En effet, l'augmentation de la dose de K déclenche une diminution importante dans les teneurs en Mg des tissus végétaux.

### **Abstract**

The effects of K and Mg fertilization on potato (*Solanum tuberosum* L.) and corn (*Zea mays* L.) yield were determined by growing these crops at five and three sites, respectively. The experimental treatments consisted of four K levels ranging from 0 to 240 kg/ha that were factorially combined with a similar number of Mg levels, which extended from 0 to 80 kg/ha. The fertilizer treatments were applied at seeding, in bands for potatoes and broadcast for corn. Magnesium fertilization did not increase tuber yield on Fourchette, Lapointe, Bourget and Parent soils though they contained as little as 6 to 35  $\mu\text{g}$  Mg/g of soil and that the concentration of this element in leaf petioles was as low as 0.12%. Corn fodder yields on an Achigan sandy loam site containing 25  $\mu\text{g}$  Mg/g of soil were, however, increased by 14% with a 80 kg Mg/ha fertilization.

Potassium fertilization tends to produce yield increases of 10 to 15% with both crops; though a 26% increase in tuber yield was observed on Fourchette soil. No significant relationship was found between the yield and the tissue concentration in K or Mg. The application rates of these nutrients were, nevertheless, closely related to the concentrations found in petioles of potato leaves or the ear leaves of corn. Potassium fertilization decreased the concentration of Mg in the tissue.

<sup>1</sup> Contribution n° 301 de la Direction de la recherche agricole, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

### Introduction

Il existe au Québec de vastes étendues de sols fortement podzolisés à roche-mère siliceuse, faiblement pourvus en potassium et en magnésium. Des teneurs inférieures à  $50 \mu\text{g/g}$  de K et à  $10 \mu\text{g/g}$  de Mg échangeable ont été observées sur ces types de sols entre autres par Bitton & Ouellette (1968) et par Giroux & van Lierop (sous presse). Des cultures exigeantes en éléments nutritifs comme la pomme de terre et le maïs-ensilage sont donc susceptibles de ne produire que de faibles rendements à cause de l'insuffisance du magnésium ou du potassium dans ces sols.

D'ailleurs les travaux de Doll & Hossner (1964), Sluijsmans (1959), Balton & Penny (1968), Hossner & Doll (1970) font état d'un accroissement significatif des rendements de pomme de terre à la suite d'apports de magnésium sur des sols renfermant moins de  $20 \mu\text{g/g}$  de Mg échangeable. Sous nos conditions, Ouellette (1965), Hubert & Ouellette (1967) ont également observé une augmentation de rendement de cette culture avec la fumure magnésienne sur le sol Saint-André renfermant  $16,8 \mu\text{g/g}$  de Mg. Il faut noter toutefois qu'à l'encontre de ces auteurs, d'autres n'ont pu réussir à démontrer l'effet de cet élément sur le rendement de la pomme de terre (Tabi *et al.*, 1977; Sawyer & Dallyn, 1966; Reith, 1963), ni sur le rendement du maïs-ensilage (Foy & Barber, 1958) dans des sols pauvres en magnésium.

Il existe aussi une relation entre la teneur en potassium échangeable du sol et le rendement de la pomme de terre (Hill, 1953; Mackay *et al.*, 1964; Giroux & van Lierop (sous presse). Ces derniers notent que les augmentations de rendement attribuables à la fumure potassique ne s'avèrent importantes qu'en sols très pauvres.

Pour le maïs-ensilage, Genest & Dionne (1977) n'ont pu déceler une augmentation de rendement attribuable à cet élément, mais ils ont constaté que le prélèvement de cette culture appauvriissait fortement le sol en potassium échangeable. Ils en ont déduit qu'il fallait poursuivre l'étude de la fertilisation potassique sur le maïs-ensilage en sols pauvres au Québec.

L'interaction entre ces deux éléments doit être également considérée comme le démontrent les travaux de Lessman (1972); Tyler *et al.* (1961) et Doll & Hossner (1964). Holmes (1962) a même signalé un cas de carence

magnésienne induite par la fumure potassique sur la pomme de terre. Cette interaction est connue mais pour les sols du Québec on ignore son importance sur le rendement et les teneurs en magnésium des plantes cultivées.

Il est important de souligner enfin que certains auteurs ont abordé le problème de la fertilisation potassique et magnésienne en étudiant les concentrations en K et Mg de ces cultures en vue d'un diagnostic foliaire. Des normes ont été proposées par Loué (1976), Mackay *et al.* (1966), Mendal-Johnsen & Sumner (1980), Tyler *et al.* (1961) pour la pomme de terre et par Jones (1972) pour le maïs-ensilage.

Ces différents aspects relatifs à la fumure potassique et magnésienne de la pomme de terre et du maïs-ensilage ont en définitive été peu traités surtout en ce qui concerne les sols podzoliques du Québec. Le présent travail vise à mesurer l'importance de ces fumures sur les rendements de la pomme de terre et du maïs-ensilage sous nos conditions. Il vise également à suivre l'alimentation en K et Mg de ces cultures, notamment sous l'aspect de l'interaction entre ces éléments fertilisants. Il se propose également de vérifier si les normes établies par la méthode du diagnostic foliaire pour ces cultures sont applicables, sous nos conditions avec les cultivars recommandés et si ces techniques peuvent s'avérer utiles pour détecter les déficiences en ces éléments dans les sols et dans les plantes.

### Matériel et méthodes

Cinq champs de pomme de terre (cv. Kennebec) et trois de maïs-ensilage (cv. Stewart Multi-G) comportant 16 traitements: 4 doses de magnésium (0, 20, 40 et 80 kg de Mg par hectare) et 4 doses de potassium (0, 80, 160 et 240 kg de K par hectare) combinées factoriellement ont été implantés sur une période de 3 ans. Le maïs-ensilage a été cultivé sur le loam sableux Achigan décrit par Raymond *et al.* (1976), sur le loam sablo-graveleux Rivière-du-Loup décrit par Pageau (1976) et sur le loam sableux Aston décrit par Laplante (1959).

La pomme de terre a été cultivée sur le loam sableux Lapointe (2 champs), sur le loam Bourget décrit par Raymond (1971), sur le sable fin Parent décrit par Raymond *et al.* (1965) et sur le loam graveleux Fourchette décrit par Pageau (1976).



L'azote et le phosphore étaient fournis respectivement aux doses de 150 kg de N par hectare et de 100 kg de P par hectare. La fumure a été appliquée en bandes pour la pomme de terre et à la volée pour le maïs-ensilage.

Les échantillons de sols ont été prélevés sur une profondeur de 20 cm dans chacun des blocs de traitement avant le semis et une moyenne a été établie pour le champ. Cette analyse a porté sur la détermination du potassium et du magnésium échangeables extraits à l'acétate d'ammonium 1N à pH 7 dans un rapport 1:10 de sol et de solution extractive. Le dosage a été effectué par spectrophotométrie d'émission pour K et d'absorption pour Mg. Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g}$  de l'élément par gramme de sol.

Les résultats de l'analyse chimique de K et Mg du pétiole de la 4<sup>e</sup> feuille à partir de l'apex de la pomme de terre au stade floraison (Lorenz & Tyler, 1976) et de la feuille de l'épi du maïs-ensilage au stade de l'apparition des soies (Jones, 1972) ont servi d'indice pour la nutrition minérale en K et en Mg. L'analyse chimique de l'ensilage au moment de la récolte a également été effectuée. La concentration en potassium et en magnésium total dans les tissus végétaux sur une base de matière sèche a été déterminée selon la méthode décrite par O'Neil & Webb (1970), après avoir regroupé les répétitions d'un même traitement pour un champ donné.

L'analyse de la variance des rendements a été réalisée à l'aide du test F de Fisher décrit par Cochran & Cox (1957) et la mesure des fonctions de productions pour K a été effectuée à l'aide du programme SACADOS, selon la méthode des moindres carrés (Boudoux & Bonenfant, 1979). L'intersection sur l'axe des «y» de ces fonctions a fourni le rendement sans fertilisation potassique, alors que la solution de la dérivée première pour une pente de zéro a permis d'établir le rendement maximum et la fumure nécessaire pour l'atteindre. Le rendement relatif pour le potassium (pourcentage du rendement maximum) a été obtenu par le rapport du rendement calculé en absence de potassium et du rendement maximum calculé en présence de fumure potassique.

Le rendement relatif pour le magnésium a été établi par le rapport du rendement moyen en absence de Mg et du rendement maximum moyen pour la dose de magnésium qui a fourni le rendement maximal. L'a-

nalyses de variance du contenu des tissus végétaux en potassium et en magnésium a été effectuée sur l'ensemble des sites à l'aide du test F de Fisher (Cochran & Cox, 1957) en considérant chacun des champs comme une répétition selon la technique décrite par Lecompt (1965).

## Résultats et discussion

### FUMURE MAGNÉSIENNE ET RENDEMENT

La fumure magnésienne ne produit aucun effet significatif ( $P = 0,05$ ) sur les rendements de la pomme de terre dans les cinq champs étudiés. Ces sols sont pourtant pauvres en magnésium échangeable; ils renferment entre 6 et 35  $\mu\text{g}$  de Mg échangeable par g de sol (tableau I). Ces résultats corroborent ceux de Tabi *et al.* (1977), Sawyer & Dallyn (1966), Reith (1963) mais sont à l'encontre de ceux de Doll & Hossner (1964), Sluijsman (1959), Balton & Penny (1968), Hossner & Doll (1970), Ouellette (1965), Hubert & Ouellette (1967) qui ont obtenu des augmentations de rendement sur cette culture avec la fumure magnésienne. L'interaction entre les éléments K et Mg s'est aussi révélée nulle en ce qui concerne les rendements de la pomme de terre. La réponse aux apports de Mg semble plutôt aléatoire et cette plante apparaît peu exigeante en magnésium. Même un sol faiblement pourvu semble en mesure de combler les besoins de la pomme de terre. Au Québec, la pratique actuelle d'appliquer du magnésium dans presque tous les champs de pomme de terre semble plutôt préventive et dans plusieurs cas, elle n'aurait vraisemblablement que peu d'effet; cependant, elle pourrait contribuer à freiner l'appauvrissement excessif du magnésium dans les sols par le prélèvement des récoltes. Les résultats indiquent aussi que le seuil critique en magnésium dans les sols à pomme de terre se situe à un niveau inférieur à celui proposé par Reith (1963) qui le fixe à 30  $\mu\text{g}$  de Mg/g de sol. Il n'est pas possible toutefois de l'établir de façon précise mais il se situerait aux environs de la valeur proposée par Sluijsmans (1959) soit 10  $\mu\text{g}$ /g de Mg.

Le maïs-ensilage semble répondre davantage aux apports de magnésium. La fumure magnésienne donne un accroissement significatif de rendement ( $P = 0,05$ ) sur le loam sableux Achigan. Le rendement relatif calculé pour le magnésium est de 86,3% soit une augmentation d'environ 14% dans ce sol qui contient 25  $\mu\text{g}$ /g de Mg. Des symptômes de

TABLEAU I  
Effet de la fumure potassique et magnésienne sur le rendement de la pomme de terre et du  
maïs-ensilage dans différents podzols du Québec

Sols	<i>Pommes de terre</i>							
	<i>K-échangeable</i> ( $\mu\text{g/g}$ )	<i>Mg éch.</i> ( $\mu\text{g/g}$ )	<i>Fonctions de productions pour K</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>Rend. rel.</i> <i>pour K</i> %	<i>Fumure K</i> <i>produisant</i> <i>rend. max.</i>	<i>Rend. rel.</i> <i>pour Mg</i> %	
Fourchette	50	15	$y = 198,8 + 0,741K - 0,00195K^2$	93,2	73,8	190	98,4	
Parent	17	6	$y = 249,3 + 0,6084K - 0,00299K^2$	38,1	86,0	133	98,8	
Lapointe-1	37	19	$y = 318,1 + 0,332K - 0,00085K^2$	32,9	90,7	196	97,9	
Bourget	206	35	$y = 239,1 + 0,2063K - 0,000586K^2$	19,4	92,9	176	100	
Lapointe-2	52	8	$y = 206 + 0,03125K$	5,1	98,2	indéterminé	100	
			<i>Maïs-ensilage</i>					
Achigan	58	25	$y = 67,66 + 0,00703K - 0,000188K^2$	19,2	91,2	187	86,3	
Aston	66	34	$y = 126,4 + 0,1673K - 0,000495K^2$	54,9	90,6	169	98,5	
Rivière-du-Loup	51	19	$y = 81,1 + 0,043K$	28,4	88,7	indéterminé	93,2	

déficiences magnésienne ont été observés sur le feuillage dans les parcelles non fertilisées en Mg à mi-saison. La dose de magnésium nécessaire se situerait entre 4 et 80 kg/ha de Mg et la teneur critique dans le sol aux environs de 25  $\mu\text{g/g}$  de Mg.

Sur le sol Rivière-du-Loup, les symptômes de déficience magnésienne ont également été visibles sur le feuillage au milieu de la saison. Certaines parcelles ont fourni un rendement plus faible en absence de fumure magnésienne. Le contenu en magnésium échangeable est de 19  $\mu\text{g/g}$  de Mg et il semble critique.

Aucun signe de déficience sur le feuillage et aucun effet significatif de la fumure magnésienne sur les rendements n'ont été observés sur le sol Aston. Il s'agit d'un sol moyennement pourvu en cet élément (35  $\mu\text{g/g}$  de Mg) et qui renferme suffisamment de magnésium pour combler toutes les exigences du maïs.

Il semble donc que la teneur en magnésium des sols ne soit pas toujours suffisante pour assurer un rendement maximum du maïs-ensilage. Même si le présent travail ne peut définir avec précision le seuil critique, nous supposons qu'il se situe aux environs de 25  $\mu\text{g/g}$  de Mg sur les sites étudiés.

#### FUMURE POTASSIQUE ET RENDEMENT

L'observation du tableau d'analyse de variance et des fonctions de productions du potassium sur la pomme de terre (tableaux I et II) indiquent que seule la fertilisation potassique sur le loam garveleux Fourchette provoque une augmentation significative du rendement. Le pourcentage du rendement maximum calculé en absence de potassium, à partir de la fonction de production pour K par l'étude de la dérivé première de la fonction est de 73,8% pour le sol Fourchette, soit une augmentation de

TABLEAU II

Rendement de pommes de terre (q/ha) et concentration moyenne en potassium et en magnésium dans le pétiole de la pomme de terre à mi-saison selon la fumure apportée

Traitement		Rendement de pommes de terre (q/ha) selon les sols et la fertilisation					Concentration moyenne dans le pétiole	
Dose K (kg/ha)	Dose Mg (kg/ha)	Fourchette	Parent	Lapointe-1	Bourget	Lapointe-2	K(%)	Mg(%)
0	0	203	250	334	244	226	6,14	0,33
0	20	206	243	303	249	213	6,11	0,58
0	40	204	272	314	216	187	5,53	0,89
0	80	179	232	316	233	193	5,93	1,01
80	0	253	310	357	279	226	7,24	0,29
80	20	247	287	355	257	205	7,65	0,45
80	40	244	289	348	270	200	7,45	0,50
80	80	252	248	313	245	217	7,28	0,67
160	0	257	288	343	253	229	8,66	0,23
160	20	270	328	325	248	191	8,61	0,32
160	40	266	250	381	233	209	8,26	0,41
160	80	265	286	333	251	199	8,90	0,46
240	0	261	266	337	253	209	9,27	0,20
240	20	267	270	329	250	214	9,03	0,25
240	40	276	272	355	280	217	9,32	0,32
240	80	259	247	380	251	219	9,75	0,38
F pour K		64,7**	N.S.	N.S.	6,31**	N.S.	59,0**	16,1**
F pour Mg		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	12,3**
F pour K $\times$ Mg		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Coefficient de variation (%)		5,62	15,9	9,5	6,8	14,1	11,1	4,4

\*\* significatif à  $P = 0,01$

N.S. non significatif à  $P = 0,05$

rendement attribuable à la fumure potassique de 26%.

La réponse à cet élément est inférieure à 15% dans les autres champs. Cette augmentation de rendement peut être économiquement rentable bien qu'elle soit statistiquement non significative ( $P = 0,05$ ). Ceci indique que l'effet de la fumure potassique n'est pas toujours considérable même dans des sols considérés comme pauvres. Cette observation a été notée par Hill (1953) et par Giroux & van Lierop (sous presse).

La dose de K requise pour l'obtention du rendement maximum calculé à partir des fonctions de production se situe entre 133 et 196 pour l'ensemble des champs de pomme de terre avec une moyenne de 174 kg/ha de K, sauf pour le sol Lapointe-2 où l'effet de la fumure potassique est négligeable. Cet apport rejoint à peu près celui proposé par

Giroux & van Lierop (sous presse) pour fertiliser la pomme de terre en sols pauvres et celui de Mackay *et al.* (1964) pour fertiliser tous les sols à pommes de terre.

Pour le maïs-ensilage, le loam sableux Achigan et le sable Aston ont répondu significativement aux apports de potassium respectivement au seuil de probabilité  $P = 0,05$  et 0,10.

Le sol Rivière-du-Loup ne montre pas d'effet significatif de la fumure potassique ( $P = 0,05$ ). La variation y est plus élevée que dans les autres sites. Sur le sol Achigan, le rendement maximal a été obtenu avec 187 kg/ha de K. Cependant on observe que la fumure potassique ne donne son plein effet que si le magnésium est également appliqué (tableau III). Sur le sol Aston, le rendement maximal a été obtenu avec 169 kg/ha de potassium (tableau I).

TABLEAU III

Rendement du maïs-ensilage (q/ha) et concentration moyenne en potassium et en magnésium dans la feuille de l'épi et dans l'ensilage selon la fumure apportée

Traitement		Rendement du maïs-ensilage (M.S.) selon les sols et la fertilisation			Concentration moyenne en potassium et en magnésium dans la feuille de l'épi et dans l'ensilage			
Dose K (kg/ha)	Dose Mg (kg/ha)	Achigan	Rivière-du-Loup	Aston	Feuille de l'épi		Ensilage à la récolte	
					K (%)	Mg (%)	K (%)	Mg (%)
0	0	62,9	85,6	140,7	1,55	0,23	0,93	0,14
0	20	66,9	81,8	140,0	1,57	0,28	0,94	0,17
0	40	68,4	88,3	126,3	1,53	0,31	0,94	0,18
0	80	69,6	74,3	138,7	1,61	0,32	0,97	0,20
80	0	67,2	81,4	144,0	1,85	0,21	1,05	0,14
80	20	77,5	89,1	144,7	1,81	0,21	1,02	0,16
80	40	75,2	84,5	154,3	1,78	0,24	1,10	0,17
80	80	76,9	77,1	143,7	1,88	0,24	1,05	0,18
160	0	65,5	82,6	151,3	2,25	0,18	1,10	0,13
160	20	74,6	79,4	150,0	2,12	0,20	1,17	0,18
160	40	72,7	82,4	146,0	2,00	0,23	1,19	0,17
160	80	75,1	97,5	154,7	2,08	0,27	1,18	0,18
240	0	65,1	81,5	140,3	2,16	0,19	1,49	0,17
240	20	76,4	96,2	148,0	2,07	0,21	1,30	0,17
240	40	75,8	100,1	156,0	2,17	0,18	1,29	0,17
240	80	80,4	92,9	148,0	2,04	0,19	1,38	0,17
F pour K		5,60**	N.S.	2,56°	39,4**	22,7**	20,98**	N.S.
F pour Mg		9,73**	N.S.	N.S.	N.S.	7,17**	N.S.	5,33**
F pour K x Mg		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Coefficient de variation (%)		7,1	14,2	9,24	7,7	12,3	37,8	14,9

° significatif à  $P = 0,10$

\*\* significatif à  $P = 0,01$

N.S. non significatif à  $P = 0,05$

Le rendement relatif calculé pour le potassium (pourcentage du rendement maximum) sur le loam sableux Achigan, le sable Aston et le loam graveleux Rivière-du-Loup est respectivement de 91,2%, 90,6% et 88,7% soit environ 90% pour les trois champs. Comme observé pour la pomme de terre, les augmentations de rendements de maïs-ensilage, suite à une fertilisation en K ne sont pas très importantes même dans des sols considérés comme pauvres en cet élément. Cependant, les doses assez élevées de fumure potassique ont produit un effet sur les rendements de sorte que les recommandations pourraient se situer aux environs de 180 kg/ha de potassium sur les sols étudiés.

#### FERTILISATION ET ANALYSE FOLIAIRE

Malgré des différences considérables entre les champs et les saisons, le potassium et le magnésium apportés affectent de façon très marquée le contenu en ces éléments dans les tissus analysés tant pour le maïs-ensilage que pour la pomme de terre (tableaux II et III).

À cause de la réponse assez faible obtenue par la fertilisation en K et Mg, et des différences considérables entre les sites, il n'a pas été possible d'obtenir de relation satisfaisante entre le rendement et la concentration dans les tissus en K ou Mg.

Les tableaux II et III montrent le rendement obtenu selon la concentration en ces éléments dans le pétiole de la pomme de terre à mi-saison et dans la feuille de l'épi à l'apparition des soies pour le maïs-ensilage. Nous avons également fourni la teneur de potassium et de magnésium dans l'ensilage au moment de la récolte pour en évaluer la teneur minérale selon la fertilisation.

Pour la pomme de terre, Tyler *et al.* (1961), Loué (1976) situent le seuil de suffisance en potassium à 9% dans le pétiole à mi-saison. Ce tissu concentre abondamment le potassium et le seuil proposé semble assez juste pour l'ensemble des champs considérés; mais il ne serait atteint dans certains champs qu'avec des doses dépassant largement la fumure recommandée au Québec. Il s'agirait d'un effet climatique puisqu'on remarque qu'une saison humide favorise beaucoup le prélèvement du potassium et qu'une saison sèche en limite beaucoup l'absorption.

La norme de suffisance proposée par Tyler *et al.* (1961) de 0,20% de Mg, le pétiole à mi-saison nous apparaît trop élevée. Dans

le sol Bourget, des concentrations en magnésium aussi basses que 0,12% n'ont pas révélé de réponse à des apports de magnésium (fig. 2). Il semble que même des sols faiblement pourvus en magnésium soient en mesure d'assurer cette concentration minimale dans le pétiole.

L'effet de la fumure potassique sur le prélèvement du magnésium a également été mis en évidence (tableaux II et III, figures 1 et 2). En absence de fumure potassique la concentration de Mg dans les tissus a été fortement reliée à la dose de magnésium fourni. À mesure que la dose de potassium appliqué s'est accrue, la relation entre la fumure magnésienne et le contenu dans le pétiole en Mg s'est atténuée pour devenir presque nulle lorsque les doses de K ont été très élevées (figures 1 et 2). Ceci est en accord avec les énoncés de Loué (1976). La présence simultanée de potassium et de magnésium dans la bande d'engrais peut aggraver la situation puisque la concentration locale en potassium y est très élevée affectant ainsi l'absorption du Mg. Il faut donc éviter de surfertiliser la pomme de terre en K si on veut favoriser l'absorption de la fumure magnésienne. À l'inverse, la fumure magnésienne n'a affecté que très peu le prélèvement du K (tableaux II et III).

Pour le maïs-ensilage, Jones (1972) propose un seuil de suffisance de 0,15% dans la feuille de l'épi à l'apparition des soies. Cette norme a été respectée dans deux champs sur trois. Sur le loam sableux Achigan n'ayant reçu aucun apport de Mg, une concentration moyenne de 0,10% a été obtenue. Une fertilisation de 40 kg/ha de Mg a

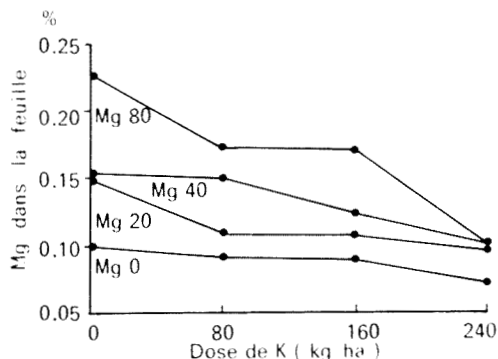


Figure 1. Concentration en magnésium dans la feuille de l'épi de maïs-ensilage en fonction des apports de potassium et de magnésium dans le loam sableux Achigan.

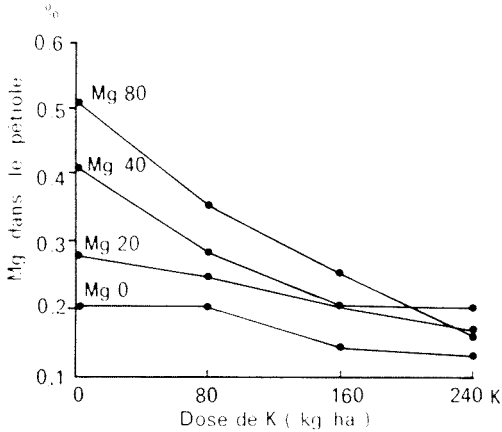


Figure 2. Concentration en magnésium dans le pétiole de la pomme de terre en fonction des apports de potassium et de magnésium dans le loam Bourget.

été nécessaire pour atteindre une concentration de 0,15%. Ce champ a répondu à des apports de magnésium. Les autres champs n'ont pas répondu de façon significative aux apports de magnésium et la concentration dans la feuille de l'épi en absence de fumure magnésienne a été de 0,23% et de 0,30%, respectivement pour le sol Rivière-du-Loup et Aston. Le seuil critique de 0,15% dans la feuille de l'épi à l'apparition des soies nous semble assez juste. La fumure potassique a affecté négativement l'absorption du magnésium par le maïs-ensilage contribuant ainsi à aggraver la déficience magnésienne lorsqu'elle s'est manifestée (fig. 1). Il faut donc éviter la surfertilisation K parce qu'elle limite beaucoup l'absorption du Mg.

Le contenu en magnésium dans l'ensilage au moment de la récolte a été inférieure à 0,20% en moyenne dans l'ensemble des sites, même dans les parcelles fertilisées en magnésium. L'analyse du magnésium dans l'ensilage au moment de la récolte nous apparaît un moins bon indicateur de la disponibilité de cet élément que l'analyse de la feuille de l'épi. L'effet des apports K et Mg a été révélé plus fortement par l'analyse de la feuille de l'épi que de l'ensilage entier. Cette teneur en Mg dans l'ensilage nous semble basse, compte tenu des apports de Mg effectués et pourrait signifier une efficacité réduite des engrais magnésiens lorsqu'ils sont utilisés en présence de fortes doses de K. D'autres modes d'apport pourraient être envisagés pour accroître cette efficacité à condition qu'on en démontre les avantages sur le rendement des cultures.

## Conclusion

Avec l'objectif de vérifier l'effet d'apport de potassium et de magnésium sur le rendement et la nutrition minérale de deux importantes cultures au Québec, cinq champs de pomme de terre et trois de maïs-ensilage comportant des doses multiples de K et de Mg ont été implantés. Aucune réponse de la fumure magnésienne n'a été obtenue sur la pomme de terre. Par contre, le maïs-ensilage cultivé sur le loam sableux Achigan a bénéficié de la fumure magnésienne et une augmentation de rendement de 14% a été obtenue dans ce sol renfermant 25  $\mu\text{g/g}$  de Mg échangeable.

La fumure potassique a fourni une réponse assez limitée tant pour la pomme de terre que pour le maïs-ensilage. Seule la pomme de terre cultivée sur le loam graveleux Fourchette a vraiment montré une réponse importante à l'apport de K. L'augmentation de rendement a été de 26% dans ce sol renfermant 50  $\mu\text{g/g}$  de K échangeable. Les autres sites ont fourni une réponse inférieure à 15%. L'effet de la fumure K a pu cependant être économiquement importante et les apports pourraient bien se situer aux environs de 175 kg/ha de K pour la pomme de terre et 180 kg/ha de K pour le maïs-ensilage dans les champs considérés.

Compte tenu des augmentations de rendements limités obtenus avec la fumure K et Mg, nous n'avons pas obtenu de relation satisfaisante entre le rendement et la concentration respective de ces éléments dans les tissus pour l'ensemble des sites. La fumure en K et Mg a accru cependant la concentration de ces éléments dans les tissus végétaux. Mais la fumure potassique a réduit considérablement le prélèvement du magnésium. Ceci peut contribuer grandement à accentuer la déficience magnésienne comme ce fut le cas dans le sol Achigan. À l'inverse, la fumure magnésienne n'a affecté que très peu le prélèvement du potassium. La norme de suffisance de 0,20% de Mg dans le pétiole de la pomme de terre à mi-saison semble élevée puisque des concentrations en magnésium aussi basses que 0,12% dans le sol Bourget n'ont pas révélé de réponse à des apports de magnésium. La norme de 9% de K dans le pétiole proposée apparaît réaliste mais en saison sèche elle ne serait atteinte qu'avec des doses d'engrais dépassant largement la fumure recommandée au Québec. Pour le maïs-ensilage, le seuil proposé par Jones (1972) qui

situé à 0,15% de Mg la concentration critique dans la feuille de l'épi, nous semble réaliste puisque la concentration obtenue dans le sol Achigan qui répond au Mg apporté a été de 0,10% alors qu'elle a été supérieure à 0,20% dans les deux sols qui ne répondent pas à cet élément.

### Remerciements

L'auteur tient à remercier MM. Michel Lemieux, Michel Noël pour leur assistance technique au cours de cette expérience ainsi que Pierre Audesse pour les analyses de laboratoire et Mme A. St-Pierre pour la dactylographie du manuscrit.

### Références

- BALTON, J. & A. PENNY, 1968. The effects of potassium and magnesium fertilizers on yield and composition of successive crops. — *J. agric. Sci. Camb.*, 70 : 30-36.
- BITTON, G. & G.-J. OUELLETTE, 1968. Contenu en magnésium total et échangeable des sols du Québec. — *Science du Sol*, 1 : 11-17.
- BOUDOUX, M. & F. BONENFANT, 1979. SACADOS. Système automatique conversationnel d'analyse de données statistiques. — *Cent. Rech. for. Laurentides, Ste-Foy, Québec*, 22 p.
- COCHRAN, W. & G.M. COX, 1957. *Experimental designs*. 2nd ed. — John Wiley, N.Y., 611 p.
- DOLL, E.C. & L.R. HOSSNER, 1964. Magnesium deficiency as related to liming and potassium levels in acid sandy podzols. VIII. — *Congrès International de la science du sol, Bucarest, Roumanie*, 4 : 907-912.
- FOY, C.D. & S.A. BARBER, 1958. Magnesium deficiency and corn yield on two acid indiana soils. — *Soil Sci.*, 22 : 145-148.
- GENEST, J. & J.-L. DIONNE, 1977. Effets de la densité du peuplement et de l'apport des éléments N, P et K sur la production d'ensilage de maïs de maturité différente. — *Can. J. Pl. Sci.*, 57 : 735-743.
- GIROUX, M. & W. van LIEROP (sous presse). Effet de la fertilisation potassique sur le rendement de la pomme de terre en relation avec l'analyse du sol. — *Can. J. Soil Sci.*
- HILL, H., 1953. Some aspect of fertilizer use for potato production and tubers quality. — *Bett. Crops.*, 37 : 11-16.
- HOLMES, M.R.J., 1962. The magnesium requirements of arable crops. — *J. Sci. Fd Agric.*, 13 : 553-556.
- HOSSNER, J.R. & E.C. DOLL, 1970. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. — *Soil Sci.*, 34 : 772-774.
- HUBERT, G. & G.J. OUELLETTE, 1967. Comportement de divers engrais magnésiens dans le sol. — *Naturaliste can.*, 94 : 727-733.
- JONES, J.B., 1972. Magnesium as a limiting factor for crop production in Georgia. — Pages 331-350 in J.B. Jones, M.C. Blount & S.R. Wilkinson (eds.), *Magnesium in the environment soil, crops, animals and man*. Div. Agric. Fort Valley State, College, Georgia, 380 p.
- LAPLANTE, L., 1959. Rapport pédologique du comté de Bagot. — *Div. Sols, Fac. Agric., Ste-Anne de la Pocatière (Kamouraska, Québec)*, 159 p.
- LECOMPT, M. 1965. L'expérimentation et les engrais. — *INA, France*, 92 p.
- LESSMAN, G.M., 1972. Differential response of plant genotypes to magnesium fertilization — Pages 177-191 in J.B. Jones, M.C. Blount & S.R. Wilkinson (eds.), *Magnesium in the environment, soils, crops, animals and man*. Div. Agric. Fort Valley State, College, Georgia, 380 p.
- LORENZ, O.A. & K.B. TYLER, 1976. Plant tissue analysis vegetable crops. — Pages 21-23 in H.M. Reisenauer (ed.), *Soil and plant tissue testing in California.*, Bull. no. 1879, 54 p.
- LOUÉ, A., 1976. L'analyse végétale en vue d'apprécier la nutrition minérale et plus particulièrement potassique de la pomme de terre. — *Revue de la potasse*, 10 : 1-13.
- MACKAY, D.C., C.R. MACEACHERN & R.F. BISHOP, 1964. The relation of soil test values to fertilizer response by the potato. III-Exchangeable potassium and potassium fertilizer requirements. — *Can. J. Soil Sci.*, 44 : 310-318.
- MACKAY, D.C., C.R. MACEACHERN & R.F. BISHOP, 1966. Optimum nutrient levels in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.). — *Soil Sci.*, 30 : 73-76.
- MENDAL-JOHNSEN, A. & M.E SUMNER, 1980. Foliar diagnostic norms for potatoes. — *J. Pl. Nut.*, 2 : 569-576.
- O'NEIL, J.V. & R.A. WEBB, 1970. Simultaneous determination of N, P and K in plant material by automatic methods. — *J. Sci. Fd Agric.*, 21 : 217-219.
- OUELLETTE, G.J., 1965. Potato varietal tolerance to magnesium deficiency. — *Can. J. Pl. Sci.*, 45 : 607-608.
- PAGEAU, E., 1976. Rapport pédologique du comté de Dorchester. — *Div. Sols, Dir. Gén. Rech. Ens. Min. Agr. Québec*, 94 p.
- RAYMOND, R. 1971. Pédologie de la région de Chicoutimi. — *Gouvernement du Québec, Min. Agric. Col. Québec*, 120 p.
- RAYMOND, R., G. LAFLAMME & G. GODBOUT, 1976. Pédologie du comté de Portneuf. — *Bull. tech. Min. Agric. Québec*, n° 18, 164 p.
- RAYMOND, R., A. MAILLOUX & A. DUBÉ, 1965. Pédologie de la région du Lac St-Jean, Div. des Sols. — *Min. Agric. Col., Québec*, 157 p.
- REITH, J.W.S., 1963. The magnesium contents of soils and crops. — *J. Sci. Fd Agric.*, 14 : 417-426.

- SAWYER, R. L. & S. L. DALLYN, 1966. Magnesium fertilization of potatoes on Long Island. — *Am. Potato. J.*, 43: 249-252.
- SLUIJSMANS, C. M. J., 1959. Relationships between magnesium level in soil, deficiency symptoms and yield increase in Dutch soils. — *Landw. Forsch.*, 13: 17-23.
- TABI, M., C. R. DE KIMPE, J. ZIZKA & L.-M. BORDELEAU, 1977. Effet de la chaux et de divers engrais magnésiens sur quelques plantes agricoles. — *Naturaliste can.*, 104: 527-536.
- TYLER, K. B., O. A. LORENZ & F. S. FULMER, 1961. Plant and soil analysis as guide in potato nutrition. — *Calif. Agric. Exp. Sta., Bull. no. 781*, 15 p.



## COMMUNICATIONS BRÈVES

### ASTER DIVARICATUS L. AU CANADA

J.-P. BERNARD et B. BOIVIN

Herbier Louis-Marie, Université Laval, Québec G1K 7P4  
et Ministère de l'Agriculture, Ottawa, Ontario

#### Résumé

*Aster divaricatus* a été décelé et récolté au nord du lac Champlain dans le sud-ouest québécois. Les mentions antérieures sont à décompter partout ailleurs au Canada sauf pour la péninsule du Niagara.

#### Abstract

*Aster divaricatus* is now known to occur in southwestern Québec just north of Lake Champlain. Previous canadian reports are to be discounted except for the Niagara peninsula.

La région du nord du lac Champlain (figure 1) est connue pour sa richesse floristique. Entre Clarenceville et Venise-en-Québec, une ceinture forestière borde un vaste secteur marécageux de plusieurs milles carrés de superficie qui devient un terrain de chasse aux canards à chaque automne. C'est dans la partie sud de ce secteur, situé beaucoup plus près de Venise-en-Québec que de Clarenceville, à proximité de la route 202, que se trouve les stations de nombreux éléments méridionaux déjà mentionnés par Raymond (1971): *Rhus vernix*, *Woodwardia virginica*, *Thelypteris simulata*, *Aronia arbutifolia*, *Wolfia columbiana*, *Carex grayi*, *Cephalanthus occidentalis*, *Decodon verticillatus* ainsi que *Polygonum arifolium*. À ce même endroit, sur le bord de la route 202, on peut trouver *Boehmeria cylindrica*, *Miscanthus sacchariflorus*, *Leersia virginica*, *Puccinellia distans* et en septembre l'*Aster laurentianus*. La partie nord du secteur devient une tourbière à *Rhododendron canadense*. C'est dans son voisinage que nous avons découvert en 1978 et en 1979 *Pinus rigida* (Baillargeon & Bernard, 1980) et *Polygala verticillata*. Il y a aussi par là, *Potamogeton crispus*, *Carex swanii*, *Carex hirsutella*, *Solidago bicolor* et *Penstemon digitalis*. Par contre, *Samolus parviflorus*, *Arceuthobium pusillum* et *Carex lupuliformis* se trouvent plutôt dans les parages de Clarenceville.

Au sud du terrain de golf de Venise-en-Québec, à l'intérieur de la ceinture boi-

sée notée ci-dessus, on a ouvert au printemps de 1979 une étroite bande de terrain pour former un long couloir en forme de «L», apparemment une piste à des fins récréatives. C'est là que nous avons repéré une colonie d'*Aster divaricatus* vers la fin du mois de juillet de la même année. L'emplacement est plutôt sec et occupé surtout par le *Pinus strobus*, accompagné de l'*Acer rubrum*, du *Carya*, du *Quercus rubra* et de l'*Abies balsamea*. L'*Aster divaricatus* formait une colonie presque pure sur un plancher nu parmi les aiguilles et sa floraison avait peut-être été hâtée par le déboisement. Car le long de ce couloir déboisé les violettes bleues et les cornouilliers du Canada ont fleuri tout l'été; ce qui ne s'observe pas sous l'ombre des arbres. Question sans doute de luminosité.

La première colonie fut repérée le 29 juillet. La floraison commençait à peine et la colonie ne couvrait qu'une surface d'environ 1,5 mètre de largeur, composée à moitié de tiges fleuries et à moitié de rosettes, assez rapprochées les unes des autres.

Une seconde colonie fut repérée le 28 août dans un habitat presque identique, sauf que la colonie était sous l'ombrage de vieux *Tsuga canadensis*, accompagné de jeunes *Betula alleghaniensis*; cette deuxième colonie se composait surtout de rosettes et seulement quelques tiges fleuries avec peu de capitules. Les capitules commençaient à peine à s'épanouir. Donc, dans les condi-

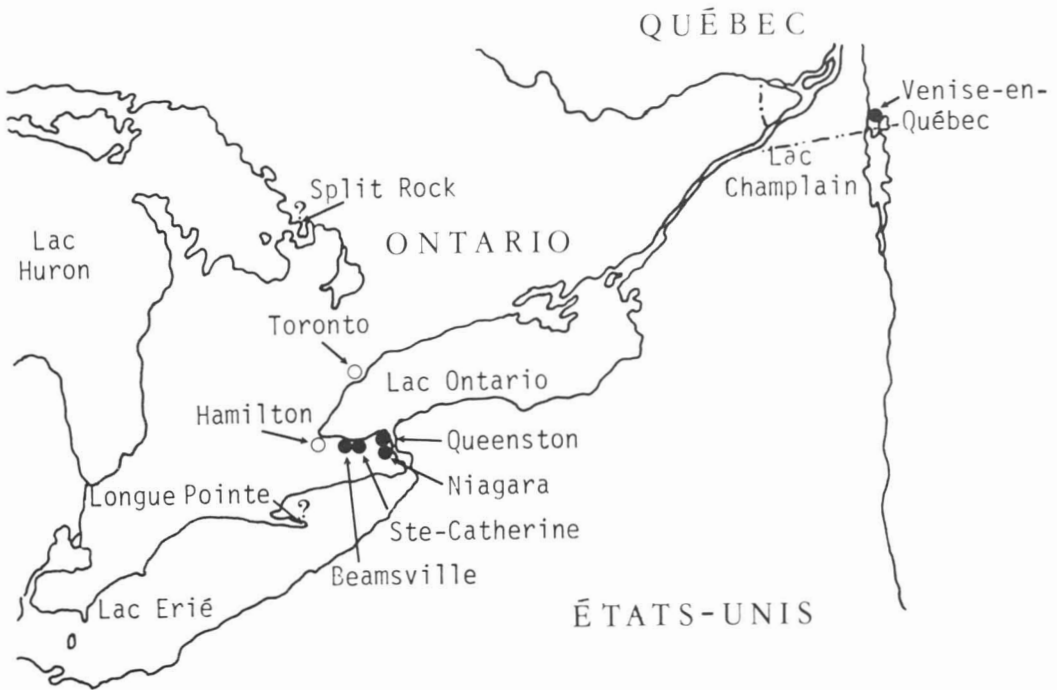


Figure 1. Distribution de l'*Aster divaricatus* L. au Canada (● indigène, ○ introduction probable, ? localité douteuse).

tions normales ce n'est que vers le commencement de septembre que cette espèce devient évidente sur le terrain. C'est la coupe d'arbres sur le site de la première colonie qui a eu pour effet de l'exposer en plein soleil, créant un micro-climat plus chaud, hâtant d'un mois la floraison. Voici l'inventaire des récoltes effectuées :

Venise-en-Québec, comté de Missisquoi: Secteur récemment déboisé à l'intérieur du bois situé du côté sud du terrain de golf, en terrain sec parmi les aiguilles. La colonie était originalement sous l'ombre de vieux *Pinus strobus*, accompagné d'*Acer rubrum*, de *Carya*, de *Quercus rubra* et d'*Abies balsamea*. Fleurs blanches. 29 juillet 1979, J.-P. Bernard B79-244 (QFA); Eodem, 3 août 1979, J.-P. Bernard B79-301 (QFA); Eodem, 28 août 1979, J.-P. Bernard B79-416 (QFA); en terrain sec, parmi les aiguilles, sous l'ombre de vieux *Tsuga canadensis*, accompagné de jeunes *Betula alleghaniensis*. 28 août 1979, J.-P. Bernard B79-424 (QFA), doubles à distribuer).

Deux autres colonies furent localisées en 1980 dans le voisinage immédiat, l'une en sous-bois, l'autre dans le défriché. Les deux colonies situées dans le défriché sont vulnérables et sans doute appelées à disparaître

avec l'aménagement de facilités additionnelles pour le golf local.

Bois mixte avec *Tsuga*, *Pinus strobus* et *Pinus rigida*, rhizome orangé, environ 1 000 tiges fleuries en quatre colonies, dont deux à l'ombre et deux dans le vert en construction: 18 juillet 1980, J.-P. Bernard B80-289 (QFA); Eodem, B. Boivin, J.-P. Bernard, J. Cayouette et C. Roy 14417 (QFA, doubles à distribuer).

Nous avons ici affaire à une espèce largement distribuée aux États-Unis, depuis le Maine et l'Ohio jusqu'en Georgie et qui pénètre à peine au Canada par deux endroits, d'abord le nord du lac Champlain tel que ci-dessus et aussi dans la région du Niagara en Ontario (figure 1).

Les mentions anciennes et récentes de cette espèce (y compris *A. corymbosus* Aiton) au Canada étant largement fautives, il y a donc lieu de préciser la limite boréale de cette espèce.

Sous le nom d'*A. corymbosus*, Macoun (1884) lui assigne la distribution canadienne suivante: «From the western part of Québec to the Kaministiquia River, West of Lake Superior (Macoun)». Répétée par Robinson

& Fernald (1908) dans la 7<sup>e</sup> édition du Gray's Manual et Britton & Brown (1913), mais omise par Fernald (1950) dans la 8<sup>e</sup> édition et Cronquist (1952). Il n'y avait pas de spécimens québécois au Gray Herbarium en 1965, ni à CAN en 1971. L'omission de Cronquist (1952) présume l'absence de spécimens canadiens à NY. Une mention pour le Manitoba a été décomptée par Scoggan (1957).

Pour l'Ontario (figure 1), nous en avons vérifié des récoltes de Niagara Falls en 1893 (CAN), Queenston en 1898 (CAN, DAO, TRT), Beamsville en 1972 (DAO) et St. Catharines en 1897 (CAN, TRT). Une récolte ancienne de Split Rock en 1916 (OAC) à la baie Georgienne n'a jamais été confirmée et il y a lieu de douter de cette location parce que certains spécimens (plusieurs centaines?) à QK portent une localité autre que le lieu de récolte. Mentionné par Cruise (1969) pour la Longue Pointe de Norfolk; aucun spécimen justificateur n'a pu être retracé à CU, HAM, OAC et TRT. Mentionné par Beschel *et al.* (1970) comme rare dans la région de Kingston mais basé sur deux récoltes de Kingston (DAO, QK) révisées en 1971 et 1978 aux *A. ciliolatus* et *macrophyllus*. La mention d'Argus & White (1977) était basée sur celles de Beschel *et al.* (1970), Boivin (1966-1967), Cruise (1969) et Kershaw (ined. 1976). Quant à la mention ontarienne de Macoun (1884) elle était semble-t-il entièrement basée sur des spécimens d'autres espèces dont une récolte de Macoun lui-même à Shannonville en 1882 (CAN) révisée depuis à l'*A. macrophyllus*. Des récoltes d'Hamilton (QK) proviennent du Jardin botanique et représentent peut-être des spécimens plantés. Peut-être en est-il aussi de même de celle de Swansea, Toronto (TRT).

Les mentions québécoises de Macoun (1884), Robinson & Fernald (1908) et Britton & Brown (1913) ont été décomptées ci-dessus. Un excellent spécimen récolté à Québec en 1904, sans nom de collecteur, faisait autrefois partie de l'herbier du Couvent des Sœurs de Sainte-Croix, aujourd'hui intégré à MT. Mais cette récolte n'a jamais été confirmée et l'herbier créé par Sœur Sainte-Amélie comprend un bon nombre de plantes cultivées et quelques erreurs d'étiquetage. Cette récolte est donc considérée comme ambiguë ou fautive en l'absence

de confirmation ultérieure. Provancher (1862) mentionne cette espèce pour Saint-Joachim (comté de Montmorency). Nous n'avons pas retrouvé de récoltes pertinentes dans son herbier et nous présumons une erreur d'identification ou une perte de spécimen, car il semble que l'herbier Provancher ne contienne plus que la moitié du nombre original de spécimens.

## Références

- ARGUS, G.W. & D.J. WHITE, 1977. Les plantes vasculaires rares de l'Ontario. — *Syllogeus*, 14: 1-67.
- BAILLARGEON, G. & J.-P. BERNARD, 1980. *Pinus rigida* Miller: seconde station au Québec. — *Naturaliste can.*, 107: 297-299.
- BESCHEL, R.E., A.E. GARWOOD, R. HAINAULT, I.D. MACKENZIE, S.P. VAN DER KLOET & C.H. ZAVITZ, 1970. List of the vascular plants of the Kingston Region. — *Fowler Herbarium, Kingston*, 92 p.
- BOIVIN, B., 1966-1967. Énumération des plantes du Canada. — *Provancheria*, n° 6, 404 p.
- BRITTON, N.L. & A. BROWN, 1913. An illustrated flora of the Northern United States, Canada and the British Possession, vol. 3. — Charles Scribner's Sons, New York, p. 406-433.
- COCHRAN, W., 1829. List of plants indigenous to Nova Scotia, vol. 2. — Pages 405-413 in T.C. Haliburton. An historical and statistical account of Nova Scotia. J. Howe, Halifax.
- CRONQUIST, A.J., 1952. *Aster*. — Pages 440-467 in H.A. Gleason, The new Britton and Brown illustrated. Flora of the northeastern United States and adjacent Canada, Vol. 3. Hafner Publishing Company, New York.
- CRUISE, J.E., 1969. A floristic study of Norfolk Co., Ontario. — *Trans. R. Can. Inst.*, 72:3-116.
- FERNALD, M.L., 1950. Gray's Manual of Botany, 8th ed. — American Book Company, New York, 1632 p.
- MACOUN, J., 1884. Catalogue of Canadian plants, Part 1, p. 193-394. Dawson Brothers, Montréal.
- PROVANCHER, L., 1862. Flore canadienne. — Joseph Darveau, Québec, 842 p.
- RAYMOND, M., 1971. Le *Rhus Vernix* dans le Québec. — *Naturaliste can.*, 98:733-734.
- ROBINSON, B.L. & M.L. FERNALD, 1908. Gray's new manual of botany, 7th ed. — American Book Company, New York, 926 p.
- SCOGGAN, H.J., 1978. The flora of Canada. — *Natn Mus. nat. Sci. Publ. Bot.*, 7(4): 1487-1506.



## UTILISATION DES INDICES DE SIMILARITÉ ET D'ASSOCIATION DANS L'INTERPRÉTATION DES DIAGRAMMES POLLINIQUES

P. COMTOIS

*Centre d'études nordiques, Université Laval,  
Sainte-Foy, Québec G1K 7P4*

### Résumé

L'emploi de deux indices de similarité, l'un pour le classement des relevés, l'autre pour le regroupement des espèces, permet d'obtenir une plus grande objectivité dans l'interprétation des spectres polliniques. Afin de ramener les échantillons à un même niveau de filtration, un facteur de correction, tenant compte de la représentation de l'apport régional, est appliqué avant le calcul des indices. Pour les spectres, l'indice de Motyka, Dobrzanski & Zawadski est modifié pour tenir compte de ce facteur de correction. Pour les espèces, l'indice de Sokal & Sneath est multiplié par un coefficient de présence, pour donner une plus grande valeur aux spectres où la similitude est fonction de la présence commune d'une espèce. Un exemple d'application est présenté.

### Abstract

The use of two similarity indices, one for the classification of the pollen spectra, and one for the grouping of the species, permits a better objectivity in the interpretation of the pollen analysis results. In order to bring all samples to a same amount of filtration, a correction factor, founded on the representation of the regional pollen influx, is applied before the calculation of indices. For the spectra, the Motyka, Dobrzanski & Zawadski index has been modified to make allowance for this correction factor. For the species, the Sokal & Sneath index is multiplied by a presence coefficient, so that a higher value is given to the spectra where similarity is made by the common presence of a species. An example is presented.

### Introduction

Diverses méthodes sont généralement utilisées pour faciliter la représentation des spectres polliniques. La plus commune consiste à mettre les relevés dans l'ordre de leur récolte: le long d'un transect pour les échantillons de surface, ou le long d'une séquence sédimentaire pour les échantillons fossiles. Quoique cette présentation facilite la lecture des résultats, une méthode quantitative est requise pour obtenir une plus grande objectivité dans l'interprétation.

Une analyse objective des diagrammes polliniques doit se faire à deux niveaux, d'abord par la mise en ordre des spectres et ensuite par le classement des espèces. Comme ces deux variables déterminent les deux axes des diagrammes, leur arrangement, grâce à une méthode qui agit par rapprochement des éléments semblables, peut permettre le maximum de discrimination entre les communautés végétales retrouvées.

Les indices de similarité allient à la fois simplicité d'utilisation et facilité d'interprétation. Ils ont déjà été utilisés en analyse pollinique avec des résultats probants (Birks & Deacon, 1973; Prentice, 1980). Deux d'entre eux peuvent être utilisés: l'un de similitude des spectres; l'autre, d'association des espèces. En effet, quoiqu'il doit y avoir une intégration des deux variables avant une interprétation finale, la similitude des spectres représente le pouvoir de résolution de la méthode, alors que la similitude du comportement des espèces indique la force du lien qui les unit entre elles.

### Correction de la filtration

Avant le calcul d'un indice de similarité, une modification doit d'abord être apportée aux résultats bruts de comptage. Deux principaux apports de pollen sont généralement reconnus: l'apport local et l'apport régional. L'apport local correspond à la vé-

gétation du système écologique étudié. Il s'agit le plus souvent d'un système tourbeux, et dans ce cas, il regroupe l'ensemble des plantes hygrophiles. L'apport régional est constitué des associations végétales colonisant les sites mésiques ou xériques environnants. Il représente une végétation de composition structurale et floristique homogène. La séparation entre ces deux niveaux est donc en quasi totalité fonction de leur écologie.

Par définition, la représentation de la végétation régionale devrait être constante dans tous les échantillons de surface. Comme le dit Janssen (1970, p. 188) : «*As a rule, the components of a large vegetation unit are not completely homogeneously distributed, but the individual smaller vegetation types often are patterned and repeat themselves over and over again*». S'il y a discontinuité dans la végétation, il n'y a plus de sources additionnelles de pollen; la courbe de dispersion du pollen d'un type de végétation se rapproche de l'abscisse ou est remplacée par celle d'un autre type. Cette discontinuité est souvent déterminée par la situation géomorphologique propre au site échantillonné.

Tauber (1965) a identifié les différents facteurs intervenant au cours de la déposition du pollen. Il n'est pas seulement important de connaître l'apport local pour mieux définir l'apport régional, et pour en tirer des informations sur la succession végétale locale; mais aussi parce que la végétation locale, par une filtration, exerce un effet important sur le taux de sédimentation du pollen régional. Sauf pour les mousses, la taille respective des grains de pollen et des agents filtrants (rameaux et feuilles) ne devrait pas permettre de filtration différentielle. Il devient donc possible de corriger cet effet sur l'ensemble des spectres.

On peut minimiser l'effet de la filtration du pollen régional causée par une différence de végétation entre les sites (soit par le biais de contraintes structurales ou phénologiques) en augmentant la somme pollinique ou le nombre de sites, qui en donneront alors une image moyenne. L'apport régional n'a pas à être constant partout pour être connu. Ce n'est pas le cas de la végétation locale, car filtrant le pollen de la végétation régionale, elle filtre également son propre apport pollinique. On peut cependant se servir de la variation de l'apport régional pour savoir dans quelle proportion cette filtration s'effectue. En effet, puisque ces

deux filtrations (de l'apport local et de l'apport régional) sont causées par la même végétation, elles devraient être du même ordre. De plus, si l'on considère la totalité de la somme régionale comme point de comparaison, les différences phénologiques ou les différences de l'apport régional dues à la proximité plus ou moins grande du site d'échantillonnage de ces diverses composantes, sont diluées dans l'ensemble considéré.

Cet artifice a d'abord été utilisé par Janssen (1973). Cet auteur calcule la fréquence des types polliniques locaux sur la base de la somme des types régionaux. De cette façon un diagramme pollinique «absolu» peut être simulé. On a déjà expliqué ailleurs la nécessité d'utiliser une somme pollinique exclusivement locale pour les taxons tourbi-coles (Comtois, 1979). En effet, cette distinction correspond à des sources écologiquement différentes et donc susceptibles de réagir différemment aux changements du milieu, et à des sources différemment distribuées sur le plan spatial. On ne peut donc pas utiliser uniquement la somme des types régionaux comme le propose Janssen (1973). C'est après l'obtention d'un pourcentage pollinique local (nombre de grains comptés d'un taxon sur la somme des pollens locaux) que devra intervenir un facteur de correction.

Nous proposons d'utiliser dans le calcul du facteur de correction le pourcentage du nombre de grains totaux participant à l'apport régional. Le site où ce pourcentage sera le maximum, soit celui qui présentera le minimum de filtration, servira d'étalon. Le facteur de correction appliqué à ce site sera égal à 1. Pour les autres sites, il sera établi comme étant le rapport entre le pourcentage du site-étalon et le pourcentage du site à corriger. Le pourcentage pollinique d'un taxon local sera donc égal à :

$$\frac{\text{nombre de grains comptés}}{\text{somme de grains locaux}} \times \frac{\% \text{ de régional au site étalon}}{\% \text{ de régional au site étudié}} \times 100.$$

### Similarité des spectres polliniques

La comparaison des spectres polliniques permet à la fois de suivre l'évolution de la végétation et de connaître le pouvoir de résolution de l'analyse pollinique, en termes de communautés végétales. Une étude de similarité ne doit donc pas seulement tenir compte de la présence de certaines espèces.

mais aussi de leur représentation pollinique, puisque c'est à ce niveau que se situe l'interprétation des diagrammes.

La formule qui semble permettre la comparaison la plus précise est celle de Motyka *et al.* (1950). Au lieu d'utiliser la somme des fréquences des espèces communes, ces auteurs emploient la somme des plus petites fréquences des espèces communes. Ils estiment en effet, qu'entre deux relevés représentés différemment par les mêmes espèces, il n'y a que la plus petite des deux quantités qui soit commune. La formule de leur indice de similarité s'écrit comme suit :

$$(2MW/MA + MB) \times 100$$

où MA = somme des fréquences des espèces restreintes au relevé A

MB = somme des fréquences des espèces restreintes au relevé B

MW = somme des plus petites fréquences des espèces communes.

Bray & Curtis (1957) ont adapté cette formule pour l'utilisation des pourcentages sous la forme de MW, puisque dans ce cas,

$$MA + MB = 200.$$

L'application du facteur de correction aux taxons locaux produit une somme en pourcentage supérieure à 100 ; on ne peut donc pas utiliser directement cette formule. Nous l'avons modifiée de la manière suivante : si Fc est le facteur de correction appliqué aux valeurs locales, et sachant que la somme régionale sera de 100%, la somme locale devient :

$$100 \times Fc \%,$$

MA devient :

$$100 Fc1 + 100$$

et MB devient :

$$100 Fc2 + 100.$$

Puisque :

$$\frac{2MW}{(100 Fc1 + 100) + (100 Fc2 + 100)} \times 100$$

$$= \frac{2MW}{(Fc1 + Fc2 + 2)} \times 100,$$

la formule s'écrit :

$$\frac{2MW}{(Fc1 + Fc2 + 2)}$$

C'est ce que nous appellerons l'indice de Motyka adapté (IMA). Nous proposons de traiter la végétation régionale et la végétation locale ensemble, afin d'obtenir le même arrangement des relevés et de faciliter la lecture et la comparaison des deux diagrammes. Cependant, il est certain que de séparer ces deux apports en deux indices différents, soit le MW de Bray & Curtis (1957) pour la végétation régionale, et

$$\frac{2MW}{Fc1 + Fc2}$$

obtenu en ne considérant que la végétation locale, donnerait des résultats plus probants, du moins dans le cas de la végétation régionale. La définition de limites de similitude est plus délicate, et il serait peut-être arbitraire de fixer *a priori* des bornes précises. Il semble qu'un indice supérieur à 60 serait le minimum requis pour que l'on parle de similitude. De toute façon, l'observation de chaque spectre nous permet de cerner un certain nombre de spectres qui lui sont semblables. La deuxième étape, après avoir défini ces différents groupes, consiste à savoir s'ils correspondent à une réalité floristique ou écologique par rapport à la végétation actuelle.

### Associations de la flore pollinique

Le cas des espèces est différent de celui des spectres. En effet, au point de vue de la végétation, une association entre deux espèces ne se définit pas par une ressemblance entre des valeurs quantitatives d'abondance, mais bien par une présence commune des deux taxons répétée dans un grand nombre de relevés. Du point de vue de la palynologie, c'est encore plus vrai. Comme les espèces ont des productions différentes de pollen pour une même densité de végétation, elles ne présentent pas une correspondance parfaite entre le rapport des quantités de pollen qu'elles produisent et leur niveau d'association.

Contrairement à un indice de similarité, un indice d'association doit tenir compte des relevés où les deux espèces en cause sont absentes. En effet, si pour une interprétation pollinique en termes de communautés végétales, ces relevés n'ont que peu d'importance, une forte association entre deux espèces doit être appuyée sur une absence commune. Sokal & Sneath (1963) ont développé une formule, le coefficient simple de

concordance, SMC (*simple matching coefficient*) égal à :

$$SMC = A + D / N,$$

où A = nombre de relevés où les deux espèces sont présentes,

D = nombre de relevés où les deux espèces sont absentes, et

N = nombre total de relevés.

Cependant, une forte valeur de cet indice peut être obtenue à partir de l'absence de deux espèces dans un grand nombre de relevés.

Nous avons alors recherché une formule permettant de donner une valeur à la présence dans les mêmes relevés de deux espèces. Un coefficient de présence, CP, défini comme :

$$CP = A / (N - D)$$

représente le rapport du nombre de relevés où il y a une présence commune sur le nombre de relevés où il y a au moins une présence. Appliqué en vue de déterminer s'il y a une association entre deux espèces, ce coefficient donne une trop grande importance à la proportion de présences, sans tenir compte de la proportion de relevés semblables. La multiplication de ces deux indices (CP et SMC) permet d'obtenir leur unification, de façon à ce qu'ils agissent de pair et que la valeur obtenue ait comme limite zéro et l'unité. Nous obtenons alors :

$$\frac{A + D}{N} \times \frac{A}{N - D} = \frac{A^2 + AD}{N^2 - ND}.$$

Nous avons appelé cet indice le coefficient de Sokal corrigé (CSC). Nous avons défini des limites de 0,75 et 0,50 respectivement, pour une association de premier ordre et de deuxième ordre.

En plus d'être utile pour connaître le lien véritable qui existe entre les espèces de la flore pollinique, cet indice peut également servir à une hiérarchisation des espèces lors de la construction d'un diagramme. En effet, la somme des CSC d'une espèce, calculée en la comparant avec l'ensemble des autres espèces, nous a semblé le meilleur indice pour classer les espèces d'un diagramme. En effet, plus une espèce aura une forte somme, plus elle présentera des associations fortes, ou plus elle présentera des associations avec un grand nombre d'autres espèces. Les espèces ayant une forte somme seront donc les plus caractéristiques du paysage représenté par les spectres pollini-

ques. Les espèces seront par conséquent disposées, dans le diagramme, en ordre décroissant de la valeur de cette somme.

## Conclusion

Les deux indices présentés ici ont été utilisés lors d'une étude de la représentation pollinique actuelle à Lanoraie (Comtois, 1979). Quarante-cinq spectres de surface ont été récoltés dans différentes associations végétales tourbicoles à Lanoraie (Québec). Les valeurs du coefficient de similarité IMA, obtenues en comparant chacun des spectres polliniques à l'ensemble des autres pris individuellement, permettent de dégager neuf groupes d'association. Ces groupes correspondent tous à des communautés végétales bien distinctes sur le terrain. Ces communautés et la moyenne de leur indice intra-groupe sont les suivantes, présentées dans un ordre de similitude inter-groupes : aulnaies (70), éricaçaies et cariçales ouvertes (68), mélézins et forêts mixtes (76), saulaies à cypéracées (55), saulaies à *Typha* (60), bétulaies à caprifoliacées (81), bétulaies à *Thuja* (65), laggs (65), et bétulaies à *Picea* (87). La position des laggs à l'intérieur des bétulaies est compréhensible, vu l'importance du recouvrement des bouleaux aux limites des tourbières étudiées. L'indice moyen « intra » est de 69, et l'indice « inter » de 57. Une limite de similitude entre 60 et 65 serait donc justifiée. La moyenne de l'indice « intra » permet de connaître les assemblages les plus distincts. Il ne semble pas que ces assemblages soient uniquement fonction des forts producteurs de pollen (v.g. *Betula* et *Alnus*), puisque les mélézins et les milieux arbustifs ouverts occupent respectivement les 3<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> rangs. Une part non négligeable du succès de cette classification peut être attribuée au facteur de correction (Fc) qui a permis, en ramenant les spectres au même niveau de filtration, de retrouver la véritable représentation pollinique des communautés végétales.

Les associations entre les espèces révélées par la somme des CSC a permis de retracer certains groupes d'espèces arborescentes décidues de l'érablière, soit : *Betula* sp., *Fagus grandifolia*, *Acer rubrum*, *Quercus* sp., *Fraxinus* sp., *Acer saccharum*, *Ulmus americanus*, *Populus tremuloides*, de même que les conifères qui y sont associés : *Pinus* sp., *Abies balsamea*, *Tsuga canadensis* et *Picea* sp. Un deuxième groupe comprend les espèces rudérales suivantes :



Graminées, Tubuliflores, Chenopodiacées, *Rumex* sp. et *Ambrosia* sp. Quatre taxons tourbicoles complètent cette liste : *Salix* sp., *Alnus rugosa*, Ericacées et Cypéracées. Trois milieux sont donc représentés par ces associations : le milieu forestier, le milieu rural et le milieu tourbeux, tous les trois caractéristiques de la région étudiée. Ces groupes ont pu par la suite être recherchés dans des diagrammes polliniques d'échantillons fossiles, et en faciliter l'interprétation. L'emploi de ces indices, lorsque les conditions d'application sont respectées, permet d'atteindre une interprétation plus représentative des groupements caractéristiques des différents milieux composant le paysage.

### Références

- BIRKS, H.J. & J. DEACON, 1973. A numerical analysis of the past and present flora of the British Isles. — *New Phytol.*, 72 : 877-907.
- BRAY, J.R. & J.T. CURTIS, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. — *Ecol. Monogr.*, 27 : 327-350.
- COMTOIS, P., 1979. Histoire holocène du climat et de la végétation à Lanoraie, Québec. — Thèse de maîtrise, Univ. Montréal, 322 p.
- JANSSEN, C.R., 1970. Problems in the recognition of plant communities in pollen diagrams. — *Vegetatio*, 20 : 187-198.
- JANSSEN, C.R., 1973. Local and regional pollen deposition. — Pages 31-42 in H.J. Birks & R.D. West (eds.). *Quaternary plant ecology*. Blackwell, London, 326 p.
- MOTYKA, J., B. DOBRZANSKI & S. ZAWADSKI, 1950. Preliminary studies on meadows in the southeast of the province Lublin. — *Ann. Univ. M. Curie Skłodowska, Sec. E*, 5 : 367-447.
- PRENTICE, I.C., 1980. Multidimensional scaling as a research tool in Quaternary palynology: a review of theory and methods. — *Rev. Paleobot. Palynol.*, 31 : 71-104.
- SOKAL, R.R. & P.H. SNEATH, 1963. *Principles of numerical taxonomy*. — Freeman, San Francisco, 359 p.
- TAUBER, H., 1965. Differential pollen dispersal and the interpretation of pollen diagrams. — *Danm. geol. Unders.*, Ser. II, no. 89, 69 p.



# PERTES EN VOLUME ET CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DU SAPIN BAUMIER APRÈS DÉFOLIATION PAR LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE

R. ZARNOVICAN

Centre de recherches forestières des Laurentides,  
Service canadien des forêts, ministère de l'Environnement,  
1080 route du Vallon, C.P. 3800, Sainte-Foy, Québec G1V 4C7

## Résumé

L'analyse de corrélation a révélé des liens très nets entre les caractéristiques dendrométriques de l'arbre et les pertes de volume dues à la défoliation des années 1950 par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Il s'agit de relations linéaires entre les pertes en volume et le dhp de l'arbre. L'étude est basée sur l'analyse de 40 tiges des arbres dominants dans des sapinières de la rive nord de la péninsule gaspésienne.

## Abstract

The correlation method was used to examine the losses of volume after defoliation by the spruce budworm in the 1950's with relation to the tree's characteristics. The results show that the losses of volume and dbh are highly correlated and it will be possible to predict past losses by dbh with a linear model. This study is based on data from stem analysis of 40 dominant fir trees from north Gaspé Peninsula.

## Introduction

L'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette [*Choristoneura fumiferana* (Clem.)] des années 1950 a causé des dommages considérables aux peuplements de sapin baumier [*Abies balsamea* (L.) Mill] et d'épinette blanche [*Picea glauca* (Moench) Voss] (Blais, 1961).

Au Québec, une des régions les plus touchées par les épidémies répétées de l'insecte, est sans doute la péninsule gaspésienne où l'épidémie des années 1950 fut particulièrement sévère, d'après les travaux de Blais & Martineau (1960) et Blais (1961). Selon Blais (1961), cette épidémie s'est répandue sur 36 000 km<sup>2</sup> causant une perte de cinq millions de mètres cubes de bois. De plus, cet auteur souligne que sans un arrosage intensif de la forêt par les insecticides chimiques, les pertes en volume auraient été dix fois plus grandes.

Bien que l'évaluation des dommages dus à la tordeuse ait fait l'objet de plusieurs travaux, dont une revue très exhaustive récente (Baskerville & MacLean, 1979), les relations

entre les pertes en volume et les caractéristiques dendrométriques des arbres n'ont pas été clairement établies.

Pour cela, il nous paraît intéressant d'examiner la perte en volume par arbre due à la défoliation des années 1950 et notamment sa relation avec les caractéristiques dendrométriques de l'arbre, et quelques paramètres du milieu. L'étude a été effectuée sur les arbres dominants de sapin baumier, dans le massif boisé du lac Joffre. D'une superficie rectangulaire de 45 km<sup>2</sup>, le massif est situé entre 48°43'30" et 48°46'30" de latitude nord et entre 66°34'00" et 66°40'30" de longitude ouest; l'altitude y varie entre 290 et 580 m. Selon la classification de Rowe (1959), le massif fait partie de la section B.2 — Gaspésie.

## Matériel et méthodes

Les données sur la croissance du sapin baumier proviennent d'analyses de 40 arbres dominants prélevés dans 14 stations d'étude. Soulignons les principales caractéristiques écologiques des stations d'étude.

établies sur les pentes faibles, exposées vers le nord et dont les sols, formés de saprolite profond à texture loameuse, sont de bien à modérément bien drainés. D'après la composition floristique, les stations d'étude appartiennent aux deux groupements, à savoir, la sapinière à mousses hypnacées et la sapinière à herbacées-latifoliées.

Les arbres, généralement trois par station, étaient choisis de telle sorte qu'ils ne présentaient aucun défaut visible sur la cime et sur le tronc; de plus, leur dhp devait être le plus

près du dhp du 95<sup>e</sup> percentile sur la courbe cumulative du nombre de tiges. La longueur des sections était d'un mètre pour le tronc et de 0,8 mètre pour la souche et le premier disque était prélevé à 0,4 mètre au-dessus du sol.

L'analyse de tiges était effectuée selon la méthodologie de Korf (1953), pour établir d'une façon chronologique à intervalles de deux ans les données sur le dhp, la hauteur, le volume, l'âge et les accroissements courants. Ce procédé nous a permis de reconsti-

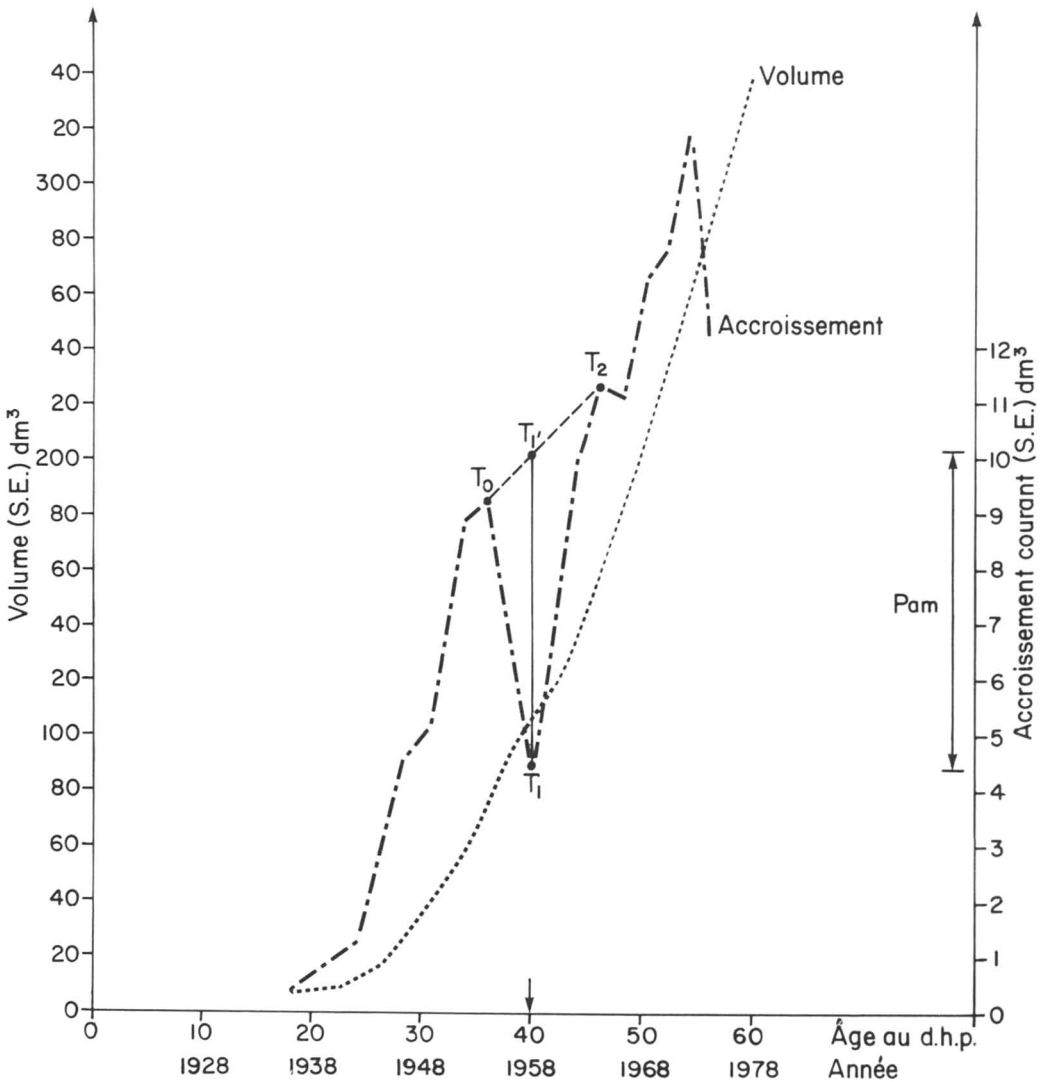


Figure 1. Évaluation des pertes de volume dues à la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. T<sub>0</sub>- début de la défoliation; T<sub>1</sub>- fin de la défoliation; T<sub>2</sub>- fin de l'effet de la défoliation sur la croissance en volume.

tuer la croissance en volume des arbres selon l'âge et l'année, mais aussi l'effet de la défoliation sur cette croissance (fig. 1).

Nous y avons identifié le début et la fin de la défoliation, par  $T_0$  et  $T_1$  et la fin de l'effet de la défoliation sur la croissance en volume par  $T_2$ . Les points  $T_0$  et  $T_2$  délimitent un segment qui représente l'accroissement en volume sans défoliation et forme la base pour évaluer les pertes.

Ainsi, la perte totale en volume,  $P_t$ , est égale à la somme de différences entre les accroissements projetés et ceux réellement observés, tandis que la perte maximale annuelle,  $P_{am}$ , correspond à la différence entre l'accroissement projeté et celui observé au moment de la fin de la défoliation,

$$P_{am} = T_2 - T_1.$$

Les autres données dendrométriques, à savoir le volume, le dhp, la hauteur et l'âge au dhp établies par analyse de tiges sont celles qui correspondent au temps  $T_1$ . L'analyse de 40 arbres a permis d'établir les données de base, dont les caractéristiques sont résumées au tableau I.

Par l'analyse de régression, nous avons évalué d'une part les relations entre les pertes en volume et les caractéristiques dendrométriques du tableau I, et d'autre part nous avons analysé les relations entre les pertes et certains facteurs du milieu, raisonnablement stables dans la vie d'un peuplement, telle la force de la pente en pourcentage, la texture du sol minéral en terme de pourcentage de sable, de limon et d'argile.

### Résultats et discussion

Le tableau II présente des coefficients de corrélation simple entre les variables et met en évidence certains liens statistiques. Il s'agit de liens très nets entre les pertes en volume et l'âge au dhp, le dhp et le volume total. Par contre, les coefficients de corrélation entre les pertes en volume et la hauteur totale sont voisins du seuil critique; donc l'interprétation en est plus difficile. Finalement, les constituants du sol ainsi que la force de la pente des stations n'ont pas montré de liens statistiques nets avec les pertes en volume.

TABLEAU I

Statistiques principales de 40 sapins baumiers

	<i>DHP</i> (cm)	Âge au dhp	Hauteur (m)	Volume (dm <sup>3</sup> )	Perte totale (dm <sup>3</sup> )	Perte max. annuelle (dm <sup>3</sup> )
Minimum	8,7	17	6,8	22,8	4,2	1,0
Maximum	24,5	73	14,7	331,5	37,7	7,4
Moyenne	14,9	41,8	11,1	119,3	15,2	3,1
Écart-type	4,0	15,5	2,5	84,7	7,9	1,6

TABLEAU II

Matrice de coefficients de corrélation

Variable	Perte totale en volume (dm <sup>3</sup> )	Perte maximale annuelle en volume (dm <sup>3</sup> )
Âge au dhp	0,81	0,81
dhp (cm)	0,89	0,90
Hauteur totale (m)	0,45	0,43
Volume total (dm)	0,87	0,87
Sable %	0,18	-0,13
Limon %	-0,18	-0,19
Argile %	0,03	0,01
Pente %	-0,24	-0,22

Pour :  $r_{0,01}(38) = 0,39$

TABLEAU III

Résultats de la régression linéaire du modèle  
 $P_{am} = a + b \times dhp$  pour 40 sapins baumiers

Coefficient de détermination	: 0,803
Valeur de a	: -2,241755
Valeur de b	: 0,354708
Erreur-type de l'estimé	: 0,7182 (23,2%)
Somme des carrés des résidus	: 10,6015

Analyse de variance du modèle  
 $P_{am} = -2,241755 + 0,354708 \times dhp$

	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Régression	1	80,0825	80,0825
Erreur	38	19,6015	0,5158
Total	39	99,6840	
	F = 155,2498	$F_{0,99} (1,38) = 7,36$	

L'examen des coefficients de corrélation significatifs entre les pertes et l'âge au dhp, le dhp et le volume total montre que la dépendance reste sensiblement la même. Donc il paraît logique de prendre comme variable explicative dans un modèle prédictif le dhp seulement, puisque celui-ci est une mesure directe dans le calcul du volume total, qu'il est plus facile à mesurer que l'âge, et que de plus, les entomologistes l'utilisent pour pondérer l'indice de défoliation (Batzer, 1969,

1973). Nous avons choisi le modèle linéaire en fonction d'une variable indépendante.

Les résultats de la régression pour la perte maximale annuelle,  $P_{am}$ , et le dhp, et de l'analyse de variance du modèle sont résumés au tableau III. Par ailleurs, les résultats de la régression linéaire pour le modèle

$$P_t (\text{perte totale}) = a + b \times dhp$$

avec l'analyse de variance du modèle sont résumés au tableau IV.

TABLEAU IV

Résultats de la régression linéaire du modèle  
 $P_t = a + b \times dhp$  pour 40 sapins baumiers

Coefficient de détermination	: 0,798
Valeur de a	: 8,066702
Valeur de b	: 0,456144
Erreur-type de l'estimé	: 1,8403 (12,1%)
Somme des carrés des résidus	: 128,6906

Analyse de variance du modèle  
 $P_t = 8,066702 + 0,456144 \times dhp$

	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Régression	1	507,8044	507,8044
Erreur	38	128,6906	3,3866
Total	39	636,4950	
	F = 149,9456	$F_{0,99} (1,38) = 7,36$	

TABLEAU V

Pertes en volume selon le dhp et le volume total pour le sapin baumier

<i>dhp</i> (cm)	<i>Volume</i> (dm <sup>3</sup> )	<i>Perte maximale</i> <i>annuelle</i> (dm <sup>3</sup> )	<i>Perte maximale</i> <i>en % du volume</i>	<i>Perte totale</i> (dm <sup>3</sup> )	<i>Perte totale</i> <i>en % du volume</i>
10	34,3	1,3	3,8	12,6	36,9
15	104,2	3,1	3,0	14,9	14,3
20	229,3	4,9	2,1	17,2	7,6
25	422,5	6,6	1,6	19,5	4,6

En admettant la validité des deux modèles, il devient intéressant d'examiner les pertes en volume en fonction du dhp, pour des valeurs du dhp comprises entre 10 et 25 cm. Le tarif de cubage établi par Zarnovican (sous presse) a pour équation :

$$\text{Volume} = 0,06231 \times \text{dhp}^{2,74068}$$

Ainsi, ce tarif à une seule entrée (dhp) permet de calculer le volume dans l'intervalle précisé plus haut, où l'erreur relative reste inférieure à 10% pour une probabilité de 0,95.

Au tableau V, nous avons résumé les pertes en volume telles que définies par les modèles décrits plus haut, mais aussi, exprimées en pourcentage par rapport au volume total sans écorce calculé par le tarif de cubage. Même si les pertes en volume augmentent avec le dhp, et par conséquent avec le volume en terme absolu, en terme relatif les pertes sont plus importantes chez les faibles dhp que chez les forts. Ainsi on observe une perte en volume de 37% pour un arbre de 10 cm de dhp et de 5% pour un arbre de 25 cm de dhp.

### Conclusion

L'étude des relations entre les caractéristiques dendrométriques des arbres et les pertes en volume dues à la défoliation par la tordeuse, met en évidence un lien, tout au moins statistique, très significatif entre plusieurs d'entre elles. La possibilité d'évaluer la perte totale en volume d'un arbre à partir de son dhp, après une défoliation, avec une erreur-type résiduelle de 12%, nous paraît un résultat très encourageant.

Il serait raisonnable, lors d'une étude à plus grande échelle non seulement de préciser ou de vérifier la méthodologie et les résultats obtenus, mais aussi d'acquérir les connaissances fonctionnelles et les données de base pour les modèles de simulation.

### Remerciements

Je désire remercier MM. J. B. Breton et J. Bluteau (CRFL-Environnement Canada) pour la préparation des données.

### Références

- BASKERVILLE, G. L. & D. A. MACLEAN, 1979. Budworm-caused mortality and 20-year recovery in immature balsam fir stands. — *Mar. For. Res. Cent., Fredericton, N.B. Inf. Rep. M-X-102*, 23 p.
- BATZER, H. O., 1969. Forest characters and vulnerability of balsam fir to spruce budworm in Minnesota. — *For. Sci.*, 15 : 17-25.
- BATZER, H. O., 1973. Net effect of spruce budworm defoliation on mortality and growth of balsam fir. — *J. For.*, 71 : 34-37.
- BLAIS, J. R., 1961. Spruce budworm outbreaks in the lower St. Lawrence and Gaspé regions. — *For. Chron.*, 37 : 192-202.
- BLAIS, J. R. & R. MARTINEAU, 1960. A recent spruce budworm outbreak in the lower St. Lawrence and Gaspé with reference to aerial spraying operation. — *For. Chron.*, 36 : 209-224.
- KORF, V., 1953. *Dendrometrie*. — *Statni Zemedelske Nakladatelstvi, Praha*, 327 p.
- ROWE, J. S., 1959. *Forest regions of Canada*. — *Can. Dep. North. Aff. Nat. Res. For. Br. Bull. no. 123*.
- ZARNOVICAN, R. (sous presse). Examen de quelques relations allométriques chez le sapin baumier et l'épinette blanche. — *Can. J. For. Res.*, 12.





## NIDIFICATION DU GRÈBE JOUGRIS AU QUÉBEC

J. CHABOT

Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune,  
Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche,  
13 rue Buteau, Hull, Québec J8Z 1V4

J. LAPOINTE

127 rue Champlain,  
Noranda, Québec J9X 1K1

et

E. LANGEVIN

668 rue Perreault ouest,  
Rouyn, Québec J9X 3E2

### Résumé

Les auteurs signalent deux mentions de nidification (non-réussie) du grèbe jougris (*Podiceps grisegena*) au lac Pelletier (48°13' N., 79°03' O.), près de Rouyn-Noranda (Témiscamingue), Québec. C'est une extension de l'aire de nidification connue pour cette espèce jusqu'ici considérée comme non nicheuse au Québec.

### Abstract

The authors report two (unsuccessful) nesting records of the red-necked grebe (*Podiceps grisegena*) at lake Pelletier (48°13' N, 79°03' W), near Rouyn-Noranda (Témiscamingue), Québec. This represents an extension of the known breeding range because the species was not considered a nesting bird in Québec.

Le grèbe jougris (*Podiceps grisegena*) niche en Europe, en Asie et en Amérique du Nord. Sur ce dernier continent, son aire de nidification chevauche l'Alaska, l'ouest et le centre-sud du Canada, le nord-ouest des États-Unis depuis l'État de Washington jusqu'au Minnesota. Près du Québec, les sites de nidification connus sont situés dans l'ouest, le centre-sud et le sud de l'Ontario (Godfrey, 1967), exceptionnellement à Cochrane (Ontario), près du lac Abitibi (Todd, 1963).

Dans le Québec méridional, ce grèbe est un migrateur rare au printemps, inusité en été et en hiver, fréquent ou occasionnel à l'automne selon les régions (David, 1980).

Deux nouvelles mentions de nidification étendent l'aire de reproduction connue vers l'est et ajoutent à la liste du Québec une nouvelle espèce d'oiseau nicheur. Ces deux nidifications ont eu lieu au même endroit, à l'extrémité est-sud-est du lac Pelletier (48°12'55" N., 79°04'25" O.), près de Rouyn-Noranda (Témiscamingue), à 90 km de Cochrane, l'une en 1980 et la seconde en 1981.

Le site (figures 1 et 2) est à l'entrée d'une petite baie eutrophe dont la surface est recouverte d'un vaste tapis de nénuphars à fleurs panachées (*Nuphar variegatum*). La zone littorale est occupée par une lisière d'un mètre de largeur de typha à feuilles larges (*Typha latifolia*) et, plus près de la rive, par une lisière de scirpe à ceinture noire (*Scirpus atrocinctus*) et quelques chicots d'arbres morts couvrant une largeur d'environ deux mètres. Au nord, sur la terre ferme, une bande boisée d'une largeur de 5 m environ sépare le lac d'une route relativement achalandée. Les espèces forestières dominantes à cet endroit sont le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), le saule rigide (*Salix rigida*), le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*) et l'aulne rugueux (*Alnus rugosa*). À l'est, un boisé borde la rive; les espèces dominantes y sont le bouleau à papier et le peuplier faux-tremble.

En 1980, le nid se trouvait à 3 m du rivage, alors qu'en 1981, il en était à 12 m environ. Les deux nids étaient faits en majeure



1



2



3

partie à même les nénuphars environnants ; quelques débris végétaux humides, ne constituant pas plus de 15% du volume, tapissaient le centre du nid (figure 3). Les nids flottaient au-dessus d'environ 30 cm d'eau en 1980 et d'environ 60 cm d'eau en 1981.

Les observations relatives à la première nidification sont comme suit : le 16 mai 1980, un groupe de 20 adultes sur le lac ; le 18 mai, 2 adultes ; le 2 juin, 2 adultes construisent un nid, aucun œuf ; le 7 juin, 2 adultes, 1 nid, 3 œufs ; le 25 juin, nid détruit suite à une tempête ; quelques jours plus tard, les adultes tentent de reconstruire le nid ; au début de juillet, les deux oiseaux ont disparu.

Les observations de la deuxième nidification sont les suivantes : le 28 avril 1981, 2 adultes ; le 9 mai, 2 adultes près du futur nid ; le 23 mai, 2 adultes dont 1 semble couvrir mais il nous fut impossible de déterminer s'il y avait des œufs ; les 31 mai, 2 et 8 juillet, 2 adultes, 1 nid et 1 œuf ; le 14 août, les adultes, l'œuf et le nid ont disparu. Selon Harrison (1978), la couvaison dure de 22 à 25 jours à partir de la ponte du premier œuf alors que Chamberlin (1977) a établi, pour un couple ayant niché au Michigan, une couvaison d'une durée de 26 jours. Il semble bien ici que la nidification ne fut pas un succès

puisque la couvaison a duré tout au moins 39 jours.

D'autres observations consignées avant 1980 laissent supposer que le grèbe jougris a pu nicher dans cette région : le lac Joannès (48°11' N., 78°41' O.), le 30 mai 1976, 2 adultes ; lac Pelletier, le 21 juillet 1978, 2 adultes ; lac Écho (48°01' N., 79°14' O.), le 22 juin 1979, 1 adulte (Chabot, en préparation).

La présence du grèbe jougris dans la région du lac Abitibi suggère la possibilité que l'espèce niche présentement dans le centre et le nord-est ontarien sans y être décelée.

### Références

- CHAMBERLIN, M.L., 1977. Observations on the red-necked grebe nesting in Michigan, U.S.A. — *Wilson Bull.*, 89: 33-46.
- DAVID, N., 1980. État et distribution des oiseaux du Québec méridional. — *Club des Ornithologues du Québec, Cahier d'ornithologie Victor-Gaboriault*, n° 3, 213 p.
- GODFREY, W.E., 1967. Les oiseaux du Canada. — *Bull. Mus. nat. Canada*, n° 203, 506 p.
- HARRISON, C., 1978. A field guide to the nests, eggs and nestlings of North American Birds. — *Demeter Press, Time Books, Glasgow*, 416 p.
- TODD, W.E.C., 1963. Birds of the Labrador peninsula and adjacent areas. — *University of Toronto Press, Toronto*, 819 p.



## THE PREVALENCE AND DISTRIBUTION PATTERNS OF ECTOPARASITES FROM WILD RODENTS IN SOUTHEASTERN QUÉBEC

T. W. GYORKOS<sup>1</sup> and D. F. J. HILTON

Department of Biological Sciences, Bishop's University,  
Lennoxville, Québec

### Résumé

Un inventaire des ectoparasites de sept rongeurs (*Clethrionomys gapperi*, le campagnol à dos roux de Gapper; *Microtus pennsylvanicus*, le campagnol des champs; *Peromyscus maniculatus*, la souris sylvestre; *Tamias striatus*, le suisse; *Tamiasciurus hudsonicus*, l'écureuil roux; *Napaeozapus insignis*, la souris sauteuse des bois et *Zapus hudsonius*, la souris sauteuse des champs) a été fait à Johnville Bog dans la région des cantons de l'Est du Québec. Des 191 rongeurs étudiés, 165 (86,4%) étaient infestés de puces (17%), de poux (11%), d'acariens (81%) ou de tiques (5%). La prévalence d'infestation parmi tous les hôtes était significative. Parmi les animaux à infestation unique, les acariens formaient le groupe prédominant. Des infestations multiples apparaissaient le plus souvent chez *T. hudsonicus*. La distribution des ectoparasites correspond à une distribution contagieuse binomiale négative. Ce phénomène est interprété selon les bases biologiques des relations parasites-hôtes.

### Abstract

A survey of the ectoparasites of seven rodent species (*Clethrionomys gapperi*, the red-backed vole; *Microtus pennsylvanicus*, the meadow vole; *Napaeozapus insignis*, the woodland jumping mouse; *Peromyscus maniculatus*, the deer mouse; *Tamias striatus*, the eastern chipmunk; *Tamiasciurus hudsonicus*, the red squirrel and *Zapus hudsonius*, the meadow jumping mouse) was undertaken at Johnville Bog in the Eastern Townships region of Québec. Of 191 rodents, 165 or 86.4% were infested with fleas (17%), lice (11%), mites (81%) or ticks (5%). The prevalence of infestation among all host species was high. Mites were the predominant group on animals carrying single infestations. Multiple infestations were most frequently found on *T. hudsonicus*. Ectoparasite distribution patterns fit the overdispersed negative binomial distribution. This clumpedness is interpreted on the basis of the biology of the host-parasite interrelationship.

### Introduction

There is a recognized lack of documented records of ectoparasites of rodents from Québec. Few extensive investigations have been carried out — the most notable are those of Robert (1962), Baker (1946) and Robert & Bergeron (1977). It is also evident from the reviews of Holland (1949), Gregson (1956), Ferris (1951) and Whitaker & Wilson (1974) that records of ectoparasites from Eastern Canada are particularly scarce. While overdispersed distributions of endo-

parasites are well documented (Anwar *et al.*, 1979; Pennycuick, 1971), only recently has this been documented for ectoparasites (Randolph, 1975). With these three major considerations, a survey, both qualitative and quantitative, was undertaken in the Eastern Townships region of Québec. The qualitative aspect has focused on the identification of ectoparasites to extend known geographical ranges and is published elsewhere (Gyorkos & Hilton, 1982). This paper details the quantitative component of this study.

### Materials and methods

The study area was the Johnville Bog (45°20' N, 71°45' W), located in the Eastern

<sup>1</sup> Present address: Institute of Parasitology, MacDonald College Campus of McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec H9X 1C0.

Townships region of southeastern Québec. The bog is surrounded by a coniferous forest and small areas of shrub and grass. Rodents were live-trapped 5 days a week, from 5 May to 8 August, 1975, using a modification of Taber & Cowan's (1971) mixture as bait. The ingredients were blended together in a Waring blender using 0.9 kg of each of the following: beef suet, peanut butter, oatmeal and raisins.

Animals were transported to the laboratory within a few hours of capture. The animals were killed by ether and examined for ectoparasites using the method described by Hilton (1970). After dehydration in a graded series of ethyl alcohol, followed by clearing in xylene (Beirne, 1962), the ectoparasites were mounted on microscope slides using Canada balsam as the medium for the fleas and the King-Bradley-McNeel medium (King *et al.*, 1942) for the mites, lice and ticks. Representative specimens from each host were mounted on slides; the remaining ectoparasites were stored in 2 dram (5ml) vials containing 70% ethyl alcohol and 1 drop glycerine.

### Results

A total of 191 rodents were examined for ectoparasites of which 165 or 86.4% were found infested (Table I). All host species had a high prevalence of infestation ( $\geq 75\%$ ). Many were infested by a single ectoparasite group, the most frequent of which was the

mites (70%). Multiple group infestations were recorded from all host species except *Zapus hudsonius*, however, only on *Tamiasciurus hudsonicus* were multiple infestations more common than single infestations.

#### SIPHONAPTERA

One hundred and twelve fleas were recovered from 33 of the 191 rodents examined. A flea index of 3.4 (that is the mean number of fleas per infested host) was obtained with an overall range of 1 to 21 (Table II). No *Z. hudsonius* carried fleas and only 1 of the 42 *Clethrionomys gapperi* was found infested. *T. hudsonicus* harbored the most diverse flea fauna; 65% were *Orchopeas caedens durus*. *Orchopeas* spp. were also found on *Peromyscus maniculatus* and *Napaeozapus insignis*. *Ctenophthalmus pseudagyrtis* was recovered from all hosts except the Zapodidae. Single occurrences of *Epitedia wenmanni* on *T. hudsonicus*, *Megabothris asio asio* on *Microtus pennsylvanicus* and *Opisodasys pseudarcotomys* on *T. hudsonicus* were observed.

#### ANOPLURA

A total of 108 lice was recovered from 22 hosts (Table III). Lice were most frequently found on *P. maniculatus*. *Hoplopleura erratica* was recovered only from *T. striatus*. *Hoplopleura hesperomydis* was recovered in large numbers from *P. maniculatus* while *Neohaematopinus semifasciatus* and *Ender-*

TABLE I  
Ectoparasite infestation levels on each host species

Host species	Number examined	Number infested	% infested	Single infestations hosts infested with*				Multiple infestations**
				F	L	M	T	
Cricetidae								
<i>Clethrionomys gapperi</i>	42	34	80.9	0	0	32	0	2
<i>Microtus pennsylvanicus</i>	30	28	93.3	2	0	21	0	5
<i>Peromyscus maniculatus</i>	35	30	85.7	3	0	19	0	8
Sciuridae								
<i>Tamias striatus</i>	12	9	75.0	1	2	2	1	3
<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	25	24	96.0	1	0	9	1	13
Zapodidae								
<i>Napaeozapus insignis</i>	41	35	85.4	0	0	28	0	7
<i>Zapus hudsonius</i>	6	5	83.3	0	0	5	0	0
Total	191	165	86.4	7	2	116	2	38

\* F = Fleas; L = Lice; M = Mites; T = Ticks

\*\* Infestation with more than one group of ectoparasite.

*leinellus nitzschi* were recovered almost exclusively from *T. hudsonicus*. In general, fewer female lice were recovered than males or immatures.

ACARI

Only 9 individuals were infested with *Ixodes* spp.; 7 of these were *T. hudsonicus*, from which adult *I. marxi* were identified. Single *Ixodes* sp. were recovered from *M. pennsylvanicus* and *T. striatus*.

Mites were the most common Acari, occurring on 154 animals (Table IV). All host species except *Zapus* carried Trombiculidae. Mites of the genus *Dermacarus* (Glycyphagidae) were the most frequent, and were recovered from a total of 97 animals. A single *Zumptiella bakeri* (Halarachnidae) was found on *T. hudsonicus* (This mite is generally classified as an endoparasite because it lives in the respiratory tracts of mammals). *Laelaps* and *Androlaelaps* were recovered from *C. gapperi*, *M. pennsylvanicus* and *N. insignis*. Lirophorids were found on *C. gapperi* and *M. pennsylvanicus*, whereas the myobiids were present on all host species. The Myocoptidae were most prevalent on the Zapodidae. Pygmephoridae were recovered from *C. gapperi* and *T. hudsonicus*. The two

instances of Parasitidae indicate accidental association since these mites are predaceous, not parasitic.

Of the mite-infested hosts the greatest burdens (> 100 mites) were found on relatively few hosts while most of the hosts harbored between 1 and 20 mites. This overdispersed type of distribution fits the negative binomial distribution first described by Crofton (1971) and later expanded by Kennedy (1975). In only three instances (fleas on *M. pennsylvanicus* and *N. insignis* and lice on *T. striatus*) were the ectoparasite distributions not overdispersed and the Poisson distribution fit the data.

Discussion

High levels of ectoparasite infestation are recorded from *C. gapperi*, *M. pennsylvanicus*, *N. insignis*, *P. maniculatus*, *T. striatus*, *T. hudsonicus* and *Z. hudsonius* in the Johnville Bog area of the Eastern Townships region of southeastern Québec. In addition, it is observed that the ectoparasite groups tend to follow an overdispersed or clumped distribution. This results not only because of their biology and the environment, but

TABLE II  
Flea species collected from each host species

Host species	<i>Ctenophthalmus pseudagyrtes</i>	<i>Epitedia wenmanni</i>	<i>Megabothris acerbus</i>	<i>Megabothris a. asio</i>	<i>Megabothris quirini</i>	<i>Monopsyllus vison</i>	<i>Opisodasys pseudarctomys</i>	<i>Orchopeas caedens durus</i>	Unidentified	Total number of fleas	Total number of infested hosts	Range of number of fleas per host
Cricetidae												
<i>Clethrionomys gapperi</i>	1/1*									1	1	(0-1)
<i>Microtus pennsylvanicus</i>	3/3			1/1	3/3					7	6	(1-2)
<i>Peromyscus maniculatus</i>	1/1							20/6		21	6	(1-10)
Sciuridae												
<i>Tamias striatus</i>	1/1		4/4							5	2	(1-4)
<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	1/1	1/1	1/1		6/4	12/5	1/1	47/10	2/1	71	12	(1-21)
Zapodidae												
<i>Napaeozapus insignis</i>					5/5			2/2		7	6	(1-2)
<i>Zapus hudsonius</i>										0	0	
Total	7	1	5	1	14	12	1	69	2	112	33	

\* Total number of fleas/number of infested hosts

TABLE III  
Infestation levels, life stages\* and species of lice from each host species

Host species	Infestation level	<i>Hoplopleura erratica</i>			<i>Hoplopleura hesperomydis</i>			<i>Neohaematopinus semifasciatus</i>			<i>Enderleinellus nitzschi</i>			Total
		F	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	
Cricetidae														
<i>Clethrionomys gapperi</i>	1/42 ( 2.4)**						1							1
<i>Microtus pennsylvanicus</i>	1/30 ( 3.3)								1					1
<i>Peromyscus maniculatus</i>	7/35 (20.0)				42	34								76
Sciuridae														
<i>Tamias striatus</i>	5/12 (41.7)	2	2	4										8
<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	6/25 (24.0)					1		4	1	3	3	2	6	20
Zapodidae														
<i>Napaeozapus insignis</i>	2/41 ( 4.9)										1	1		2
<i>Zapus hudsonius</i>	0/6 ( 0.0)													
Total	22/191 (11.5)		8			78			9			13		108

\* F : Female ; M : Male ; I : Immaturess.

\*\* Number of infested hosts/number of hosts examined (% infested).



also because of the biology and behaviour of their hosts. Reasons for the predominance of this overdispersed type of distribution are varied and range from differences in diet and behaviour to population dynamics of both ectoparasite and host mechanisms of parasite transmission (Kennedy, 1975).

For example, fleas on host species *Peromyscus maniculatus* exhibit this "few have many, many have few" distribution. A large portion of the siphonapteran life cycle is spent in the hosts' nest. The overdispersion may result from a number of events: 1) successive encounters of the host in the nest, 2) the numbers of adult fleas in the nest (this depends on the successful completion of larval and pupal development which has been shown to be determined by micro-environmental conditions (Hopkins, 1957), 3) the species of flea present in the nest (some species have variable egg production, rate of development and growth, feeding and behavioural characteristics and other determinants resulting in differential infestation levels) and 4) the age and sex of the host.

Lice also show overdispersed distributions. Anoplurans are obligatory blood-feeding ectoparasites and spend their entire life cycle on one animal. Transfers between hosts occur only when there is body contact (such as between males and females at mating or with lactating females and their young) (Hopkins, 1949). Intraspecific exchange is therefore uncommon, but possible, while interspecific exchange is rare.

The same observation can be made for mites. Each family of Acari has specific characteristics which may lead to overdispersion, as well as contribute to their high numbers and broad geographical ranges. For example, the Glycyphagidae (= Labidophoridae) are found in the fur of mammals, usually as hypopi, the non-feeding resting stage, which develops into an active deutonymph and then adult. Both the Myobiidae and the Myocoptidae have a cosmopolitan distribution among rodent hosts. Listerophorid mites show a more restricted distribution which probably reflects their highly modified attachments to particular host microhabitats (Fain, 1971).

The extent to which external factors are important in the distribution of mites on their hosts can only be speculated on. Eder (1971) suggests that mite distributions may be related to colder climates and that longer, colder winters have a damping effect on

mite populations. Also, the nests of the host animals allow for reservoirs of mites to be built up in cases where the mite is only temporarily attached to the host's body (Daniel & Holubickova, 1972).

In addition to these specific biological considerations, sampling of ectoparasites on hosts introduces sampling variability. For instance, there may be some characteristic of the study area or location of capture which may result in differential trapping and subsequent bias in sampling. This may also result from a change in the population of rodents being sampled due to seasonality or structure of the population. Brown & Orians (1970) have investigated the spacing patterns of mobile animals and state that the observed patterns result from the interaction of individuals to one another as well as to the environment. If hosts exhibit a clumped distribution, then this is likely to be reflected in their ectoparasite burdens.

### Acknowledgments

Support of the former National Research Council through grant no. A9685 to D.F.J. Hilton is gratefully acknowledged. We are deeply indebted to the following individuals for their assistance with ectoparasite identification: J.E.H. Martin (lice and ticks), E.E. Lindquist and King Wan Wu (mites), Biosystematics Research Institute, Experimental Farm, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario, and W.C. Welborn (Trombiculidae), Acarology Laboratory, Ohio State University, Columbus, Ohio.

### References

- ANWAR, M., H. RAK, & T.W. GYORKOS, 1979. The incidence of *Gongylonema pulchrum* from cattle in Iran. — *Vet. Parasitol.*, 5: 271-274.
- BAKER, J.A., 1946. A rickettsial infection in Canadian voles. — *J. exp. Med.*, 84: 37-49.
- BEIRNE, B.P., 1962. Collecting, preparing and preserving insects. — *Can. Dep. Agric., Sci. Serv., Ent. Div., Publ. no. 932*, 113 p.
- BROWN, J.L. & G.H. ORIAN, 1970. Spacing patterns in mobile animals. — *A. Rev. Ecol. Syst.*, 1: 239-262.
- CROFTON, H.D., 1971. A quantitative approach to parasitism. — *Parasitology*, 62: 179-195.
- DANIEL, M. & B. HOLUBICKOVA, 1972. Interspecific relationships of gamasid mites in the nests of *Clethrionomys glareolus*. — *Folia Parasitol. (Prague)*, 19: 67-86.
- EDLER, A., 1973. Ectoparasitic mites (Gamasidae) on small mammals in northernmost

TABLE IV  
Numbers of individuals of each mite family from each host species

<i>Host species</i>	<i>Halarachnidae</i>	<i>Glycyphagidae</i>	<i>Laelapidae</i>	<i>Listrophoridae</i>	<i>Myobiidae</i>	<i>Myocoptidae</i>	<i>Parasitidae</i>	<i>Pygmephoridae</i>	<i>Trombiculidae</i>	Total no. of mites	Total no. infested hosts
<i>Cricetidae</i>											
<i>C. gapperi</i>		507/13*	15/4	351/13	290/23	20/6		4/3	33/14	1220	34
<i>M. pennsylvanicus</i>		170/21	16/10	187/6	51/14	11/3	1/1		17/6	453	26
<i>P. maniculatus</i>		3/2		1/1	160/16	28/8			38/9	230	27
<i>Sciuridae</i>											
<i>T. striatus</i>		2/2			29/1	1/1			6/3	38	5
<i>T. hudsonicus</i>	1/1	5444/21			2/1	50/1	3/1	3/1	72/12	5572	22
<i>Zapodidae</i>											
<i>N. insignis</i>		2111/33	7/5	4/1	52/2	463/9			17/9	2654	35
<i>Z. hudsonius</i>		70/5			29/1	109/1				208	5
Total no. of infested hosts	1	97	19	21	58	29	2	4	53		154
Total no. of mites	1	8307	38	543	613	682	4	7	183	10375	

\* Total number of mites/number of host animals infested with this family of mites.

- Sweden. — Pages 403-409 in M. Daniel (ed.), *Acarology. Proc. 3rd Inter. Cong. Acarol.*, Prague, Czechoslovakia, 1120 p.
- FAIN, A., 1973. Classification and geographical distribution of Lirophoroidea. — Pages 411-414 in M. David (ed.), *Acarology. Proc. 3rd Inter. Cong. Acarol.*, Prague, Czechoslovakia, 1120 p.
- FERRIS, G.F., 1951. The sucking lice. — *Mem. Pac. Coast Entomol. Soc.*, San Francisco, 320 p.
- GREGSON, J.D., 1956. The Ixodoidea of Canada. — *Can. Dep. Agric., Sci. Serv., Ent. Div., Publ. no. 930*, 92 p.
- GYORKOS, T.W. & D.F.J. HILTON, 1982. Range extensions for some ectoparasites from rodents of southeastern Québec. — *Can. J. Zool.*, 60: 486-488.
- HILTON, D.F.J., 1970. A technique for collecting ectoparasites from small birds and mammals. — *Can. J. Zool.*, 48: 1445-1448.
- HOLLAND, G.P., 1949. The Siphonaptera of Canada. — *Can. Dep. Agric., Publ. no. 817*, Tech. Bull., no. 70, 306 p.
- HOPKINS, G.H.E., 1949. Host associations of the lice of mammals. — *Proc. zool. Soc. Lond.*, 119: 387-604.
- HOPKINS, G.H.E., 1957. Host associations of Siphonaptera. — *International Union of Biological Sciences. Series B. Colloquia*, 32: 64-87.
- KENNEDY, C.R., 1975. *Ecological animal parasitology*. — Blackwell Scientific Publications, Oxford, 163 p.
- KING, W.V., G.H. BRADLEY & T.E. MCNEEL, 1942. The mosquitoes of the southeastern states. — *U.S. Dept. Agri., Misc. Publ. no. 336*, p. 9-11.
- PENNYCUK, L., 1971. Frequency distributions of parasites in a population of three-spined sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus* L., with particular reference to the negative binomial distribution. — *Parasitology*, 63: 389-406.
- RANDOLPH, S.E., 1975. Patterns of distribution of the tick *Ixodes trianguliceps* Bibula on its host. — *J. Anim. Ecol.*, 44: 451-474.
- ROBERT, A., 1962. I. Travaux scientifiques. Siphonaptères récoltés sur les petits rongeurs du parc du Mont Tremblant et leurs relations avec leurs hôtes. — *Ann. Soc. ent. Qué.*, 7: 3-18.
- ROBERT, S. & J.-M. BERGERON, 1977. Les siphonaptères de la région de Sherbrooke, Québec. — *Can. Ent.*, 109: 1571-1582.
- TABER, R.D. & I. MCT. COWAN, 1971. Capturing and marking small animals. — Pages 277-311 in R.H. Giles (ed.), *Wildlife management techniques*. The Wildlife Society, Washington, D.C.
- WHITAKER, J.O., Jr. & N. WILSON, 1974. Host and distribution lists of mites (Acari), parasitic and phoretic, in the hair of wild mammals of North America, North of Mexico. — *Am. Midl. Nat.*, 91: 1-67.



## REVUE DES LIVRES

FOWLER, C.W. & T.D. SMITH (édit.), 1981. **Dynamics of large mammal populations.** — A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, 477 p., 16,5 × 23,9 cm, 42,50 \$US.

Cet ouvrage édité par C.W. Fowler et T.D. Smith constitue un assemblage de 23 contributions présentées par 35 spécialistes à un congrès tenu en mai 1978 à Logan. Il vise entre autres à présenter la dynamique des populations de grands mammifères comme un domaine scientifique bien identifié intégrant des approches et des concepts particuliers. C'est la première fois qu'une telle démarche était entreprise de façon formelle et c'était sûrement beaucoup espérer que de croire arriver à former un tout cohérent de présentations sur des groupes écologiques aussi différents que des baleines, des pinnipèdes, des ours, des cervidés, des éléphants et des lions. Cependant l'effort méritait d'être tenté si nous voulons un jour adapter à ces animaux et dépasser les modèles et les méthodes s'appliquant au recrutement des stocks de poissons ou aux populations de petits mammifères ou d'insectes.

Le manque d'intégration dans ce domaine est apparent dans l'ouvrage puisque sur 23 chapitres 4 seulement couvrent à la fois le domaine terrestre et marin et tentent une synthèse. Les autres chapitres se confinent très strictement à l'un ou l'autre des milieux. Dans certains de ces cas, l'approche est généraliste et on aborde des sujets comme l'évaluation de la condition physique de grands mammifères terrestres (chap. 3), l'utilisation de modèles en aménagement de la faune (chap. 12), ou l'évaluation des modèles disponibles pour les populations de mammifères marins (p. 277). D'autres contributions traitent de cas plus particuliers (une espèce ou un système de deux ou trois espèces), ou de problèmes liés aux méthodes démographiques intéressant l'aménagiste responsable d'espèces comme l'otarie à fourrure ou le cerf de Virginie.

Peu importe l'aspect particulier de la biologie des populations de grands mammifères qui intéresse le lecteur au départ, celui-ci est certain de trouver au moins quelques chapitres intéressants et instructifs. Il est cependant difficile de réaliser l'intégration des parties et de percevoir ce qui caractérise vraiment ce champ d'activité que l'on veut définir bien que le dernier chapitre apporte quelques suggestions intéressantes à ce sujet.

Parmi les contributions particulièrement intéressantes mentionnons celle de Bunnell & Tait sur la dynamique de population des ours, celle de Walters, Stocker & Haber sur l'élaboration d'un

modèle de simulation des relations loup-ongulés et celle de Lett, Mohr & Gray sur les variables dépendantes de la densité et les stratégies d'aménagement de populations de phoque du Groënland du nord-ouest de l'Atlantique.

L'ouvrage dans son ensemble aurait gagné à être édité avec plus d'autorité. Il aurait été avantageux par exemple de regrouper les articles par sujet et d'organiser davantage le plan général. On note aussi l'absence de chapitre sur la dynamique des populations de caribous, lesquelles ont subi des variations dramatiques en Amérique du Nord au cours des dernières années et ont soulevé de nombreuses controverses. À plusieurs endroits on remarque des affirmations de portée générale qui auraient dû être nuancées. Ainsi il peut être trompeur d'affirmer (p. 44) que « l'indice de gras des reins » est une alternative préférable à l'estimation du gras total de la carcasse d'un mammifère. C'est sûrement un indice plus rapide et plus facile à obtenir, mais il est loin d'être utile à toutes les saisons et pour toutes les catégories d'individus de la population. C'est probablement trop se fier, peut-être inconsciemment, à la « sureté » et au « réalisme » des modèles de simulations que d'affirmer (p. 244) : « Although simulation models for populations are incomplete... they are capable of handling, in an orderly and consistent fashion, many more components of the population than mental models and are therefore much more reliable » (sic). On comprend la portée de cette affirmation si on la met en relation avec un autre chapitre (p. 409) où l'auteur base son modèle de population sur un prérequis selon lequel le recrutement dans les populations de cerfs au Michigan doit être constant d'une année à l'autre. Il ne fait nullement allusion au fait que c'est dans cet État que les recherches les plus probantes ont été menées sur les relations entre la nutrition, les conditions climatiques et la variabilité du recrutement annuel. L'addition de formulations mathématiques ne rend certainement pas le modèle mental plus « fiable » dans ce cas.

Finalement, un point de détail qui devrait maintenant être réglé : on trouve encore un chapitre (16) où les auteurs utilisent le système d'unité de mesure anglaise de façon générale, mais avec une exception. Ainsi, les loups consomment « à peu près 2 kg de nourriture/jour » à partir d'une population de proies exprimées en « livres/mi<sup>2</sup> ».

En somme, même s'il les laissera sûrement insatisfaits, cet ouvrage intéressera autant les fervents des modèles abstraits que les praticiens de l'aménagement. Et, bien qu'il ne deviendra probablement jamais un classique du domaine, il atteindra vraisemblablement le but de ses éditeurs

soit de constituer: «A positive step toward contributing to the progress in the study, management and protection of large mammals». Il faut cependant ajouter que ce pas devrait déjà être largement amorcé car le matériel de base présenté en mai 1978 et préparé en juillet 1981 commence déjà à avoir de l'âge à certains endroits.

Jean HUOT

*Département de biologie  
Université Laval*

VÉZINA, P.-E. & M.R. ROBERGE, 1981. **Comment aménager nos forêts.** — Les Presses de l'Université Laval, Québec, 273 p., 15 × 23 cm, 15\$.

La publication au Québec d'un volume sur l'aménagement des forêts est un événement tellement rare, malgré l'importance de notre ressource forestière, qu'il mérite une attention spéciale. L'objectif des auteurs est de présenter quelques modes de gestion des forêts de façon à permettre aux gestionnaires de faire un choix éclairé entre les diverses techniques (p. 9). Pour ce faire, ils présentent d'abord les bases de l'aménagement forestier: objectifs de l'aménagement, description des forêts du Québec, écologie des principales essences, méthode de classification des stations selon leur productivité, principaux agents nuisibles et autres formes de contraintes. Cette première partie rassemble donc une foule de renseignements qu'on ne pourrait trouver autrement qu'en parcourant un grand nombre de publications spécialisées. Toutefois, le tableau résumant les caractéristiques écologiques des essences aurait besoin de plus amples explications: on comprendrait alors pourquoi, par exemple, le diamètre (moyen?) à maturité du pin gris et du peuplier faux-tremble est inférieur au diamètre (sur les meilleures stations?) à l'âge de 50 ans. Cette ambiguïté n'est pas dissipée dans les paragraphes consacrés à l'écologie de ces deux essences.

La deuxième partie décrit divers traitements sylvicoles que l'on applique généralement à un moment ou à l'autre de la vie d'un peuplement. Comme le titre du volume l'indique, les auteurs ont voulu faire un guide pratique d'aménagement des forêts du Québec. C'est pourquoi on ne retrouve pas dans cette section de longues discussions théoriques, mais un exposé pratique sur la nature, les buts et les conditions d'application des différents traitements. Dans la même veine, les auteurs n'hésitent pas à recommander de façon générale certains systèmes d'aménagement et à en déconseiller d'autres. Cette façon de procéder présente toutefois quelques inconvénients: des méthodes présentées comme moins adéquates pourraient être préférables dans certaines circonstances. C'est le cas par exemple pour l'emploi des plants en récipient, pour lequel ils montrent peu d'intérêt. De même, le rejet presque absolu des coupes de jardinage ne fera sans

doute pas l'unanimité, encore que la série de 5 ou 6 coupes en bandes étroites, qu'ils suggèrent pour les remplacer, produira en pratique un résultat assez voisin; on se retrouve donc devant un problème de sémantique plutôt que de sylviculture. À cet égard, la distinction entre coupe totale et coupe rase me semble superflue, même si l'on peut accepter celle qui est faite entre coupe rase et coupe à blanc, compte tenu de l'emploi abusif de ce dernier terme dans la pratique courante. Enfin la position des auteurs concernant les pesticides (incluant les phytocides?) présente une certaine ambiguïté. Malgré cela, cette deuxième partie constitue une revue intéressante des moyens dont dispose le gestionnaire pour aménager adéquatement les forêts.

La troisième partie suggère, sous forme de clefs, des prescriptions sylvicoles adaptées aux essences et aux diverses conditions de peuplement rencontrées. Malgré son intérêt, cette section aurait gagné à être complétée par un texte explicatif; dans le cas de la tremblaie, par exemple, on aurait pu mentionner les difficultés posées par l'enrésinement de ces peuplements sur les stations de bonne qualité.

Malgré ces quelques remarques, ce volume devrait intéresser non seulement les ingénieurs forestiers, mais encore les propriétaires de boisés et en général tous ceux que l'aménagement forestier intéresse. Ainsi qu'il a été dit, l'une de ses qualités est de réunir une foule de renseignements qui étaient difficilement accessibles auparavant. En outre, le choix des auteurs de privilégier une discussion des traitements sylvicoles axée sur les conditions spécifiques du Québec mérite d'être souligné. Certaines de leurs prises de position soulèveront sans doute des objections, mais elles auront le mérite de provoquer une discussion qui devrait conduire à une amélioration de l'aménagement forestier au Québec.

René DOUCET

*Service de la recherche forestière  
Ministère de l'Énergie  
et des Ressources du Québec*

MATHON, C.-C., 1981. **L'origine des plantes cultivées.** — Collection «écologie appliquée et sciences de l'environnement», 5. Masson, Paris, 122 p., 120 fig., 15,5 × 24 cm. Cartonné. Prix non indiqué.

Ce document se veut une synthèse sur l'origine des plantes cultivées. Il sera certes utile comme texte de référence à quiconque est désireux de connaître la provenance des plantes maintenant en culture (sauf les plantes ornementales); il n'est cependant pas toujours possible d'établir avec exactitude le centre d'origine de nombre d'entre elles qui sont cultivées depuis des siècles.

Le chapitre le plus important (75 pages) porte sur les aires plus ou moins probables de primo-

domestication (ou/et d'origine) de quelques plantes cultivées (ou/et récoltées). C'est ainsi que l'on y apprend que la plupart de nos légumes et de nos céréales sont de la région proche-orientale ou méditerranéenne. Les autres plantes citées dans ce texte appartiennent soit à l'Afrique, la région sino-japonaise, au sud-est asiatique ou au Pacifique, à l'Australie, à l'Amérique du Nord, centrale ou du Sud. En ce qui concerne notre continent, l'on peut affirmer que l'auteur n'a pas exercé un esprit très critique sur la littérature botanique; en effet, dans la figure 72, intitulée «*Représentation schématique probable du maximum de l'extension glaciaire en Amérique du Nord*», il indique les endroits de l'est du Canada qui auraient échappé à la dernière glaciation. Il s'agit là essentiellement de la théorie des nunataks, publiée par M.L. Fernald en 1925, et tombée en désuétude depuis plus de 30 ans.

Le second chapitre en importance (40 pages) présente succinctement la biogéographie de quelques plantes cultivées importantes; parmi celles qui nous intéressent plus particulièrement, mentionnons les blés, l'orge, le seigle, les avoines, le maïs, la pomme de terre et la betterave. Pour chacune d'elles, l'auteur identifie beaucoup d'espèces avec leur nombre chromosomique de mé-

me que les insectes prédateurs et les maladies propres à ces plantes.

Le livre se termine par un glossaire de 147 mots, suivi d'un index alphabétique des noms latins avec auteurs et d'un autre des noms vernaculaires. La bibliographie de l'auteur est à toutes fins utiles inexistante. Il écrit dans son introduction: «*Des milliers de documents ont été consultés, leur énumération occuperait un nombre de pages plus important que celui de la présente publication*». Il aurait été indispensable que soit donnée dans cet ouvrage au moins la liste des auteurs cités, qui s'avère toujours un point de départ pour des recherches subséquentes. En introduction, il ne mentionne que 11 titres, jugés les plus importants; pour la grande majorité d'entre eux, il ne cite même pas la maison d'édition, ce qui est tout à fait inadmissible.

L'auteur a voulu faire une synthèse incluant plusieurs centaines de taxons; le but était en soi louable mais le sujet malheureusement beaucoup trop vaste; le lecteur demeure sur son appétit.

Camille ROUSSEAU

*Conseil consultatif de l'environnement  
Gouvernement du Québec*

## LIVRES REÇUS

ANONYME, 1981. **Interactions entre pesticides et pollinisateurs.** — Conseil national de recherches du Canada. Publication n° 18472 du Secrétariat de l'environnement, 215 p., 21,3 × 26,7 cm. 5,00\$.

Recueil de données touchant l'empoisonnement des abeilles par les pesticides et les effets des pesticides sur les populations indigènes d'abeilles dans les communautés naturelles.

CALOW, P., 1981. **Invertebrate biology. A functional approach.** — Croom Helm, London, 183 p., 13,5 × 21,5 cm. Relié, £11,95; cartonné, £5,95.

Ce petit livre traitant de la biologie des invertébrés vise résolument à montrer comment ces animaux constituent des systèmes intégrés issus d'un passé évolutif (objet de la biologie de l'évolution) mais qui fonctionnent dans le contexte présent (domaine de l'écologie).

CLARKE, A.H., 1981. **Les mollusques d'eau douce du Canada.** — Musée national des sciences naturelles, Musées nationaux du Canada, Ottawa, 447 p., 196 illustrations (16 en couleur). 24,8 × 17,6 cm. Relié, 39,95\$.

Version française de l'important ouvrage de malacologie de Clarke faite par Aurèle Larocque. On y traite des 179 espèces et sous-espèces de mollusques d'eau douce du Canada: description détaillée, répartition géographique, notes écologiques.

GAUTHREUX, Jr., S.A. (edit.), 1980. **Animal migration, orientation, and navigation.** — Academic Press, New York, 387 p., 16 × 23,5 cm. Relié, 50,70\$ US.

Ouvrage portant sur l'écologie et l'évolution des migrations, les influences climatiques, les aspects énergétiques, la physiologie et les mécanismes d'orientation. Chacun de ces points est examiné pour les principaux groupes taxonomiques.

GILLES, R. (edit.), 1980. **Animals and environmental fitness. Physiological and biochemical aspects of adaptation and ecology.** Volumes 1 & 2. — Pergamon Press, 17,5 × 25,5 cm. Tome 1, 619 p, prix : 105\$ US. Tome 2, 186 p., 46\$ US.

Recueil des principales communications de la première conférence de l'*European Society for Comparative Physiology and Biochemistry*, à Liège, en Belgique.

GUAY, G. & M. COUILLARD, 1980. **Contamination de l'environnement par l'usine de chlore-**

**alcali, Alcan, Arvida.** — Bureau d'étude sur les substances toxiques, Environnement Québec, 87 p., 21,3 × 27,3 cm. Peut être obtenu sur demande.

Dossier sur la contamination par le mercure dans l'atmosphère, les eaux douces et les eaux salées de la région du Saguenay.

LEFEBVRE, J., M. BUTTARD & J.-F. REY, 1981. **Logiciels d'analyses statistiques multidimensionnelles sur micro-ordinateurs.** — Masson, Paris, 152 p., 15,9 × 24 cm.

Analyse d'un ensemble de programme de micro-ordinateurs permettant la création, l'édition, les modifications de fichiers pour les statistiques élémentaires et les méthodes statistiques multidimensionnelles.

LEVINE, N.D. & V. IVENS, 1981. **The Coccidian parasites (Protozoa, Apicomplexa) of carnivores.** — Univ. Illinois Press, 248 p., 15 × 22,8 cm. Cartonné 15,95\$ US.

Ce cinquante-et-unième volume de la série «Illinois Biological Monographs» contient une revue systématique des Coccidies, parasites chez bon nombre de carnivores. On y trouve tous les renseignements concernant la répartition chez les hôtes et la distribution géographique, un bon ensemble d'illustrations propres à faciliter l'identification, une bibliographie fouillée et un glossaire particulièrement utile pour le non-spécialiste de ce groupe de parasites.

OMAR, M.H., 1980. **Meteorological factors affecting the epidemiology of the cotton leaf worm and the pink bollworm.** — Technical note no. 167, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 46 p.

Le point sur l'épidémiologie des insectes s'attaquant au coton: le ver des feuilles du coton *Spodoptera littoralis* (Boisd) et le ver rose des capsules de coton, *Pectinophora gossypiella* (Saund). On y examine particulièrement les effets des facteurs météorologiques (température, humidité, vent) à divers stades du cycle de vie de ces insectes qui infligent au coton des dégâts considérables.

OMAR, M.H., 1980. **The economic value of agro-meteorological information and advice.** — Technical note no. 164, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 52 p.

Une analyse des moyens à employer pour accroître la quantité et améliorer la qualité des denrées alimentaire, des bois et des fibres par une meilleure utilisation des connaissances agro-météorologiques. On y traite notamment des



mesures visant à réduire les pertes et les dégâts qui peuvent se produire durant le transport et l'entreposage des produits agricoles.

PERSSON, T. (ed.), 1980. **Structure and function of northern coniferous forests. An ecosystem study.** — Swedish Natural Science Research Council, Ecological Bulletin, no. 32, 609 p., 17 × 24,5 cm. Relié, approx. 64\$ US.

Recueil de 37 articles scientifiques découlant de la réalisation d'un vaste programme de recherches sur les forêts suédoises de conifères. Y sont analysés plusieurs des processus touchant les végétaux, les sols, les échanges d'eau, la dynamique de la biomasse végétale et les facteurs qui régissent la croissance.

PIERCE, R.C., S.P. MATHUR, D.T. WILLIAMS & M.H. BODDINGTON, 1981. **Esters phtaliques dans l'environnement aquatique.** — Conseil national de recherches du Canada, Publication n° 17584, 110 p., 21,3 × 27,3 cm, 3,00\$

Les esters phtaliques dans l'environnement aquatique : sources, concentrations, biodégradation, bioaccumulation, bioconcentration, effets létaux et sublétaux.

POMEROY, L.R. & R.G. WIEGERT (edit.), 1981. **The ecology of a salt marsh.** — Springer-Verlag, New York, 271 p., 17,0 × 24,7 cm.

Synthèse de vingt ans de recherche pluridisciplinaire dans un marécage de l'île Sapelo, dans l'État de la Georgie, aux États-Unis. La rencontre des études expérimentales poursuivies et de la modélisation ont permis un examen global de ce type d'écosystème, même si l'accent est placé sur l'écologie microbienne.

ROSE, D., C.M. PEARSON, M. ZUKER & J.R. ROBERTS, 1981. **Éthylène-thiourée: critères pour évaluer ses effets sur l'homme.** — Conseil national de recherches du Canada, Publication n° 18470 du Secrétariat de l'environnement, 187 p., 21,3 × 26,7 cm, 3,00\$.

L'éthylène-thiourée (ETU) est produite lors de la décomposition des éthylène-bisdithiocarbamates. Ces dernières substances constituent un groupe important de fongicides utilisés sur les graines et sur les récoltes pendant toute la saison

de croissance. L'étude présentée ici porte principalement sur la formation de l'ETU et ses effets sur les mammifères. On y analyse notamment ses propriétés carcinogène et tératogène.

SPEAR, P.A., 1981. **Le zinc dans l'environnement aquatique: chimie, répartition et toxicologie.** — Conseil national de recherches du Canada, Publication n° 17590 du Secrétariat de l'environnement, 150 p., 21,3 × 26,7 cm, 3,00\$

Étude de la caractérisation chimique du zinc par rapport à la toxicité et des problèmes relatifs aux dépôts acides dans les lacs et les rivières. On y examine la question des seuils de toxicité.

SAURY, A., 1981. **Les plantes mellifères. L'abeille et ses produits.** — Éditions Lechevalier S.A.R.L., Paris, 171 p., 15,5 × 22,2 cm, 120,00 FF.

Présentation schématique de 50 plantes mellifères, accompagnée de dessins faits par l'auteur (dont 25 en couleurs). On y trouve également un répertoire des moments de floraison des plantes mellifères, un index des plantes visitées par les abeilles, les aires de répartition des miels de France et autres renseignements pratiques, ainsi qu'un court texte sur l'apithérapie.

**Aquatic toxicology**, Vol. 1, 1981. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, New York.

Nouveau périodique consacré à la publication d'articles scientifiques inédits touchant les problèmes de toxicité dans les milieux aquatiques: évaluation, mécanismes d'action, effets, aspects méthodologiques et techniques.

**Journal of crustacean biology.** A quarterly of the Crustacean Society for the publication of research on any aspect of the Biology of Crustacea. Vol. 1, 1981. The Crustacean Society, Smithsonian Institution, Washington, D.C. 20560, U.S.A. 30,00\$ US (abonnement annuel).

Nouveau périodique dont l'objectif est la diffusion de connaissances nouvelles sur tout aspect de la biologie des crustacés. Le volume 1 contient une proportion élevée d'articles de systématique, un bon nombre d'études sur la biologie d'espèces particulières, mais très peu d'écologie.

## DIRECTIVES AUX AUTEURS

### ORIENTATION DE LA REVUE

Le Naturaliste canadien publie des articles *inédits*, rédigés en français ou en anglais, *découlant de travaux de recherche* en écologie fondamentale et appliquée, en systématique et dans certains domaines apparentés. Tout manuscrit soumis est l'objet d'une évaluation externe par des pairs.

### PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à *double interligne* sur le recto de feuilles de 21,5 × 28 cm, seront expédiés en *trois* exemplaires au Secrétaire de la rédaction, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4 (Canada).

Les éléments du manuscrit sont les suivants: (1) le titre, le nom de l'auteur, le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur; (2) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces; (3) un résumé français et un résumé anglais; (4) le texte; (5) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains) et les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes).

### TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant: résumé, *abstract*, introduction, matériel et méthodes, résultats, discussion, conclusion, remerciements et références bibliographiques.

On tiendra compte des remarques suivantes: (1) les caractères soulignés d'un trait simple sont composés en italiques; (2) les notes inframarginales doivent être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement; (3) pour les unités de mesure, on doit utiliser le SI (système international d'unités).

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles sont indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles sont citées par ordre

alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant de la présentation suivante:

BOUCHARD, A. & P. F. MAYCOCK, 1978. Les forêts décidues et mixtes de la région appalachienne du sud québécois. — *Naturaliste can.*, 105: 383-415.

LEGENDRE, L. & P. LEGENDRE, 1979. Écologie numérique. 1. Le traitement multiple des données écologiques. — Masson, Paris & Les Presses de l'Université du Québec, Montréal, 197 p.

LEVINS, R., 1975. Evolution in communities near equilibrium. — Pages 16-50 in M. L. Cody & J. M. Diamond (eds.). *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 545 p.

Les titres des périodiques doivent être abrégés selon «World List of Scientific Periodicals».

### ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à trois clichés par manuscrit; tous les clichés additionnels sont à la charge de l'auteur.

Les *photographies* doivent être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupe, autant que possible, les photographies sur une même planche, en les collant sur un carton rigide, sans oublier de les numéroté proprement et lisiblement au coin droit. Trois séries sont requises.

Les *dessins* doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage doit être fait à l'aide d'un appareil à dessin. Il doit être suffisamment grand pour avoir, après la réduction finale, au moins 1,5 mm de hauteur. En plus de l'original, on est prié de fournir deux copies de chacun des graphiques.

Dans le cas des dessins et des photographies, bien tenir compte de leur réduction à un format ne dépassant pas 12,5 × 20 cm, légende comprise.

On présentera la liste des légendes sur une page séparée. On indiquera cependant à l'endos des photographies et des dessins le nom de l'auteur et le numéro de figure.

LE NATURALISTE CANADIEN  
Revue d'écologie et de systématique

Volume 109	1982	Numéro 1
PAGEAU, Y. <i>Forillonaspis</i> , nouvel Arthrodire du Dévonien moyen des Grès de Gaspé, Québec .....		1-11
GIBSON, R.J. & Y. CÔTÉ. Production de saumonneaux et recaptures de saumons adultes étiquetés à la rivière Matamec, Côte-Nord, golfe du Saint-Laurent, Québec .....		13-25
LLAMAS, J. & B. TYANO. Synchronisme régional des crues. Analyse mathématique ..		27-31
JALBERT, P., D. LARRIVÉE & J.H. HIMMELMAN. Reproductive cycle of the mottled red chiton ( <i>Tonicella marmorea</i> ) in the St. Lawrence Estuary, Québec .....		33-37
MÉNARD, G., R. McNEIL & A. BOUCHARD. Les facteurs indicatifs de la diversité des peuplements d'oiseaux forestiers du sud du Québec .....		39-50
DARVEAU, M., P. BELLEFLEUR & B. HOUDE. Modèle de simulation de la dynamique des communautés aviennes en fonction de la succession de l'érablière à bouleau jaune .....		51-62
CODY, W.J. A comparison of the northern limits of distribution of some vascular plant species found in southern Ontario .....		63-90
KAPOOR, B.M. & C. GERVAIS. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique. III .....		91-101
SEOANE, J.R. & P. GERVAIS. Valeur nutritive des foins de luzerne (Iroquois), de brome (Saratoga) et de fléole (Timfor et Champ) pour les moutons .....		103-107
GIROUX, M. Effet d'apport de potassium et de magnésium sur le rendement et la nutrition minérale de la pomme de terre et du maïs-ensilage .....		109-118
<b>COMMUNICATIONS BRÈVES</b>		
BERNARD, J.-P. & B. BOIVIN. <i>Aster divaricatus</i> L. au Canada .....		119-121
COMTOIS, P. Utilisation des indices de similarité et d'association dans l'interprétation des diagrammes polliniques .....		123-127
ZARNOVICAN, R. Pertes en volume et caractéristiques dendrométriques du sapin baumier après défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette .....		129-133
CHABOT, J., J. LAPOINTE & E. LANGEVIN. Nidification du grèbe jougris au Québec ..		135-137
GYORKOS, T.W. & D.F.J. HILTON. The prevalence and distribution patterns of ectoparasites from wild rodents in southeastern Québec .....		139-145
<b>REVUE DES LIVRES</b> .....		147-151

# LE NATURALISTE CANADIEN

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE SYSTÉMATIQUE

---

VOLUME 109

NUMÉRO 2

1982



Septembre 1982

---

Les Presses de l'Université Laval  
Québec

# LE NATURALISTE CANADIEN

Revue d'écologie et de systématique

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR  
GUY LACROIX

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION  
PIERRE MORISSET

## COMITÉ DE RÉDACTION

CYRILLE BARRETTE, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD BERNIER, *Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval*  
ANDRÉ BOUCHARD, *Institut botanique, Université de Montréal*  
CARL M. BOYD, *Département d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*  
EDWIN BOURGET, *Département de biologie, Université Laval*  
PIERRE COUILLARD, *Département des sciences biologiques, Université de Montréal*  
JEAN-MARC DESCHÊNES, *Station de recherches, Agriculture Canada, Sainte-Foy, Québec*  
FERNAND M. GAUTHIER, *Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Ministère de l'Agriculture du Québec*  
PIERRE LEGENDRE, *Département de sciences biologiques, Université de Montréal*  
WILLIAM C. LEGGETT, *Département de biologie, Université McGill*  
JEREMY MCNEIL, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD J. R. PHILOGÈNE, *Département de biologie, Université d'Ottawa*

Publication trimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN (Revue d'écologie et de systématique) publie des articles *inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche en écologie, en systématique et dans certains domaines apparentés. La revue s'intéresse également aux aspects appliqués, notamment dans la perspective des ressources agricoles, forestières et halieutiques du Québec et du Canada oriental et nordique.

LE NATURALISTE CANADIEN est subventionné par le Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et par le Fonds F.C.A.C. du Québec.

Les manuscrits doivent être expédiés à l'adresse suivante : LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

Toute correspondance touchant l'administration, les abonnements ou les droits de reproduction doit être adressée aux Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4. L'abonnement annuel est de \$17 (personnel), \$19 (personnel, étranger) et \$34 (collectif, *multi-user*). Le numéro régulier se vend \$ 5.

Répertorié dans Biological Abstracts, Asher's  
Guide, Botanical Periodicals, RADAR et Périodex

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement n° 1768

Dépôt légal — Troisième trimestre 1982. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

THE PREDACEOUS AND PHYTOPHAGOUS PLANT BUGS  
(HETEROPTERA : MIRIDAE)  
FOUND ON APPLE TREES IN QUÉBEC

S. A. BRAIMAH<sup>1</sup>

Department of Entomology, Macdonald College  
Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec H9X 1C0

L. A. KELTON

Agriculture Canada, Biosystematics Research Institute  
Ottawa, Ontario K1A 0C6

and

R. K. STEWART

Department of Entomology, Macdonald College  
Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec H9X 1C0

**Résumé**

On a inventorié 32 espèces de Miridae vivant sur les pommiers dans le sud du Québec, dont 22 espèces sont prédatrices, 7 phytophages et 3 à la fois prédatrices et phytophages. On donne des clés d'identification des sous-familles, genres et espèces rencontrés, ainsi que l'illustration des adultes de 31 espèces, en plus de renseignements sur leur biologie et leur distribution en Amérique du Nord. Les nouvelles mentions pour le Québec sont : *Taedia pallidula* (McAtee), *Phytocoris husseyi* Knight, *P. canadensis* Knight, *Ceratocapsus digitulus* Knight, *C. fuscinus* Knight, *Heterocordylus malinus* Reuter, *Pilophorus perplexus* Douglas & Scott, *Lepidopsallus minisculus* Knight et *Hyaliodes harti* Knight.

**Abstract**

Thirty-two species of Miridae are reported from apple trees in southern Québec. Of this number 22 are predaceous, 7 phytophagous, and 3 are predaceous and phytophagous. Keys to subfamilies, genera and species are given; adults of 31 species are illustrated; short descriptions, biology, and North American distributions are also provided. New records for Québec are: *Taedia pallidula* (McAtee), *Phytocoris husseyi* Knight, *P. canadensis* Knight, *Ceratocapsus digitulus* Knight, *C. fuscinus* Knight, *Heterocordylus malinus* Reuter, *Pilophorus perplexus* Douglas & Scott, *Lepidopsallus minisculus* Knight, and *Hyaliodes harti* Knight.

**Introduction**

The plant bugs, or Miridae, are of great economic importance to man because they are either harmful or beneficial. Individuals

are numerous, and are found on a great variety of plants.

In apple orchards the phytophagous species are injurious. This lowers the crop yield and the commercial grade of apples. Large populations may completely destroy the fruit crop. These pests often require control programs which are an added

<sup>1</sup> Present address: Department of Entomology, University of Alberta, Edmonton T6G 2E3.

expense to the apple grower. Damage and loss caused by the bugs often amount to thousands of dollars.

The predaceous species are important natural agents for controlling the pests that live on apple trees. They prey on pests such as mites, aphids, leafhoppers, caterpillars, and other small arthropods. Without the predaceous mirids, damage to apple crops would be considerably greater.

Plant bugs that occur on apple trees are inadequately known and little is known of their natural history. In 1978 a study was initiated to collect the mirids in apple orchards, to observe their feeding, and study their natural history. The aim of this report is to help research scientists and apple growers in Québec to recognize orchard species of plant bugs and to provide biological information necessary to control pest species.

Collections were made from unsprayed orchards in Rigaud, Sainte-Anne-de-Bellevue, Hemmingford, and Agriculture Canada Research Farm at Frelighsburg, Québec. Collections were made throughout the summers of 1978-1980 commencing in May and concluding in early September. All specimens were mounted on points, identified, and deposited in the Lyman Museum, Macdonald College. Illustrations of adults were made with the aid of a camera lucida attached to a stereo-binocular microscope. Distributions for North America were taken from Carvalho (1957, 1958a, 1958b, 1959) and Kelton (1980b).

This study shows that 32 species of Miridae representing 17 genera occur on apple trees in southern Québec. Of this number 22 species are predaceous, 7 species are phytophagous, and 3 species are predaceous and phytophagous. The study also includes notes about their behaviour, seasonal occurrence, and life history. Keys to subfamilies, tribes, genera and species are given; 31 adults are illustrated, brief descriptions of adults, and their distribution are also provided.

### Collecting Miridae

There are three methods to collect Miridae on apple trees: sweeping over branches with a regular sweep net, beating the branches using a beating stick and sheet, and searching for individual specimens on trunks and branches.

A sweep net is used on young flexible branches but as mirids are fragile and delicate insects, sweeping should be done carefully. After a few sweeps the mirids are removed from the net with an aspirator. Leaves, fruit, and other debris picked up in sweeping can damage the bugs if sweeping is prolonged. Sweeping should be done under dry conditions as moisture in the net ruins the specimens.

The beating method is used on thicker branches. A nylon sheet approximately 1 m square and supported diagonally by metal rods is held under a branch, which is sharply struck from above with a stick. Bugs on the branch are jarred loose and fall on the sheet where they are picked off quickly with an aspirator. Most specimens for this study were collected by the two methods above.

The third method is to search for individual specimens on trunks and limbs of apple trees. Plant bugs that live on the bark are well camouflaged and usually hide in the crevices so are difficult to spot until they move. When discovered they can be picked up directly with the aspirator.

Collected specimens are killed promptly in cyanide. All mirids should be mounted on narrow triangular cardboard points and not pinned directly. The point tip is bent to fit the angle of the thorax so that the specimen will be level when mounted. Use the minimum amount of glue on the tip and attach to the right side of the thorax above the middle coxa. Miridae should not be placed in alcohol.

### Morphology

Adult Miridae are distinguished from other bugs collected on apple trees by: four-segmented antennae, four-segmented rostrum and absence of ocelli. The hemelytron is typically separated into clavus, corium, embolium, and wing membrane. The abdomen consists of eight normally exposed segments. Each leg consists of coxa, trochanter, femur, tibia and tarsus. Tarsal claws and the structures between them, the parempodia and pulvilli, provide reliable characters for separating the subfamilies. Figure 1 shows the typical mirid structures and illustrates the structural terms.

Mirid nymphs, especially in the early instars are small and delicate, and generally look alike. Last instar nymphs assume the

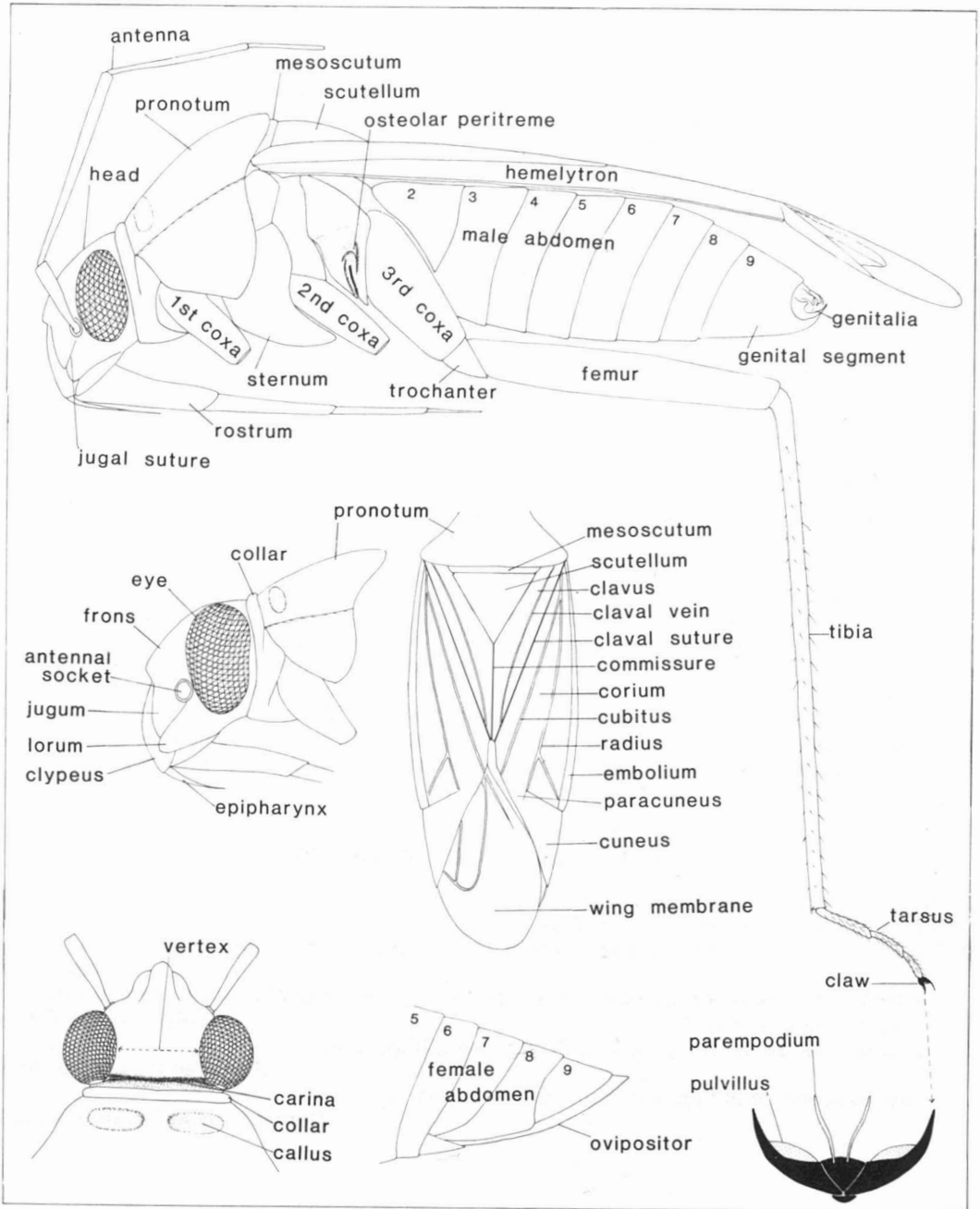


Figure 1. Adult mirid, showing typical mirid structures and illustrating structural terms (Kelton, 1980a).



appearance of adults except that they do not have the fully developed wings and they do not have the male or female genital structures. Thus, the identity of the nymphs in most situations depends on their association with the adults.

**Biology**

Most mirids, both predaceous and phytophagous, pass the winter in the egg stage. Eggs are laid during summer in tender growing stems of the host plant, and overwinter. They hatch the following spring when the host plant is sprouting new shoots. Nymphs feed on new growth by sucking out sap, or prey on other arthropods present on the host plant. The nymphs pass through five stages of development, each instar normally requiring approximately 5-7 days. On the fifth molt they become adults and continue feeding. Males die soon after mating, but females live longer to oviposit.

Relatively few species of Miridae hibernate. Those that do seek shelter in the fall under bark or litter on the ground. In the spring adults emerge and commence feeding on available prey or on tender new shoots. After mating females commence to lay eggs and continue to do so for a prolonged time. Eggs incubate for approximately 10-14 days, and then nymphs emerge and commence feeding, passing through five nymphal stages and develop into adults. Thus, during summer overwintered adults

overlap the new generation adults; however, the latter are in much larger numbers. By mid-summer overwintered adults gradually die out and new adults continue to feed until hibernation.

The phytophagous Miridae collected on apple trees in Québec are not restricted to apple alone but are also found on native trees that are closely related to apple. The bugs readily migrate from native trees to apples growing nearby. The predaceous species readily disperse from plant to plant and their presence on apple trees indicates an abundant food supply. Most studies of mirid predation have been conducted in Nova Scotia apple orchards. Gilliatt (1935), Lord (1949, 1956, 1962, 1971), MacPhee & Sanford (1954, 1956, 1961), Sanford (1964), MacLellan (1962, 1963, 1977, 1979), Sanford & Herbert (1966), and Herbert & Sanford (1969) have observed the influence of spray programs on seven or eight predatory mirids. However, no effort was made to study what other plant bugs occur on apple and why they are there.

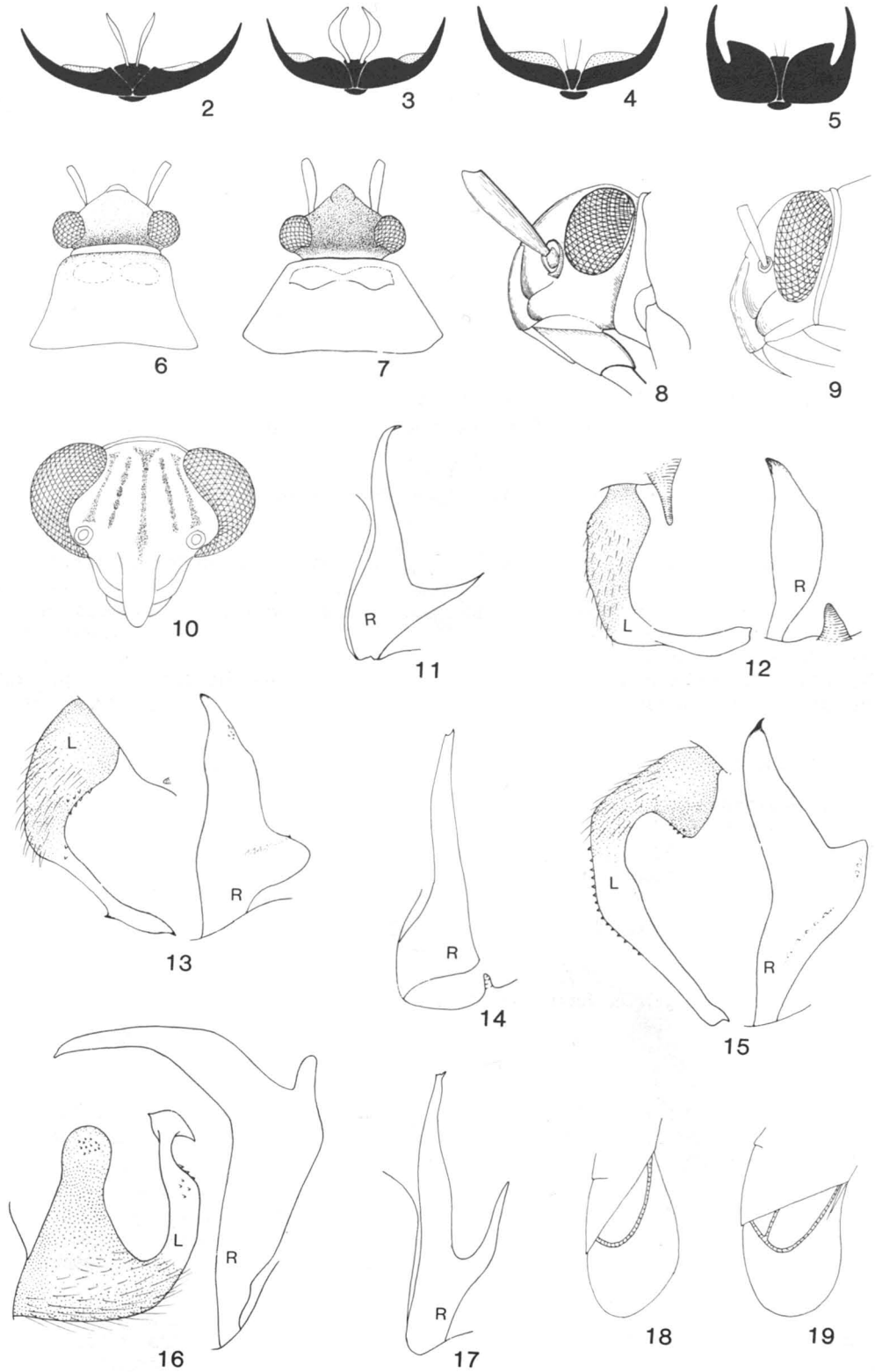
**Classification**

The classification of the Miridae in this report is the same as used by Kelton (1980b). The four subfamilies represented in this report are Mirinae Hahn, Orthotylinae Van Duzee, Phylinae Douglas & Scott, and Deraeocorinae Douglas & Scott.

**KEY TO SUBFAMILIES OF MIRIDAE**

- 1. Parempodia large and membranous (Figs. 2, 3) .....2  
    Parempodia slender and hairlike (Figs. 4, 5) .....3
- 2. Parempodia divergent toward apices (Fig. 2); pronotal collar distinct (Fig. 6) .....  
    .....Mirinae Hahn  
    Parempodia parallel or convergent at apices (Fig. 3); pronotal collar depressed,  
    inconspicuous (Fig. 7) .....Orthotylinae Van Duzee
- 3. Collar depressed as in Figure 7; pulvilli present (Figs. 2-4) .....  
    .....Phylinae Douglas & Scott  
    Collar exposed as in Figure 6; pulvilli absent (Fig. 5) .....  
    .....Deraeocorinae Douglas & Scott

Figures 2-19. Miridae structures. Figs. 2-5. Claws of Miridae; Fig. 2. Mirinae; Fig. 3. Orthotylinae; Fig. 4. Phylinae; Fig. 5. Deraeocorinae; Fig. 6. Pronotum of Mirinae; Fig. 7. Pronotum of Orthotylinae and Phylinae; Fig. 8. Head of *Lygidea mendax*; Figs. 9-10. Head of *Lygus lineolaris*; Figs. 11-17. Male claspers of *Phytocoris* spp.; Fig. 11. *corticevivens*; Fig. 12. *conspurcatus*; Fig. 13. *salicis*; Fig. 14. *husseyi*; Fig. 15. *neglectus*; Fig. 16. *erectus*; Fig. 17. *canadensis*; Fig. 18. Wing membranes of Hyaliodini; Fig. 19. Wing membrane of Deraeocorini.



**Subfamily Mirinae Hahn**

This is the largest subfamily in North America. Species are distinguished by the large and free parempodia diverging at the apices, and by the distinct collar.

This subfamily is represented by the tribe Mirini, seven genera, and 14 species. Eight species are predaceous, six species are phytophagous. Three species are new provincial records.

KEY TO GENERA OF MIRINAE

- 1. First antennal segment with numerous flattened black hairs (Fig. 20) ..... *Neurocolpus* Reuter  
     First antennal segment without flattened hairs ..... 2
- 2. Pronotum with depressed black spot behind each callus (Fig. 21) ..... *Taedia* Distant  
     Pronotum without depressed black spots behind calli ..... 3
- 3. Black, densely pubescent; second antennal segment clavate (Fig. 22) ..... *Capsus* Fabricius  
     Not black; second antennal segment linear ..... 4
- 4. Pronotum impunctate; carina between eyes absent; pubescence on dorsum simple and sericeous ..... *Phytocoris* Fieber  
     Pronotum punctate; carina between eyes present; dorsum with simple pubescence ..... 5
- 5. Eyes nearly spherical (Fig. 8) ..... *Lygidea* Reuter  
     Eyes elliptical (Fig. 9) ..... 5
- 6. Pronotum coarsely punctate (Fig. 31); frons with oblique lines (Fig. 10) ..... *Lygus* Hahn  
     Pronotum finely punctate (Fig. 32); frons without oblique lines ..... *Lygocoris* Reuter

**Genus *Neurocolpus* Reuter**

Robust species. Eyes large, carina between them absent. First antennal segment stout with flattened black hairs. Hemelytra with simple and sericeous pubescence. Legs markedly pilose.

One species was collected.

*Neurocolpus nubilus* (Say)  
(Fig. 20)

*Capsus nubilus* Say, 1832: 22.  
*Neurocolpus nubilus*: Reuter, 1875: 70.

Length 7.0-7.7 mm; width 2.5-2.8 mm. Yellowish brown species; pronotum with tufts of black hairs (Fig. 20).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear in early June and the adults in early July; adults gradually die out by mid-August. Phytophagous. Also breeds on staghorn sumac, and adults may readily migrate to nearby apple trees.

Distribution: widespread in USA; Manitoba, Ontario, Québec.

**Genus *Taedia* Distant**

Elongate, robust species. Eyes large, carina between them absent. Pronotum with black velvety spot behind each callus. Hemelytra with simple and sericeous pubescence. Legs long and slender.

One species was collected.

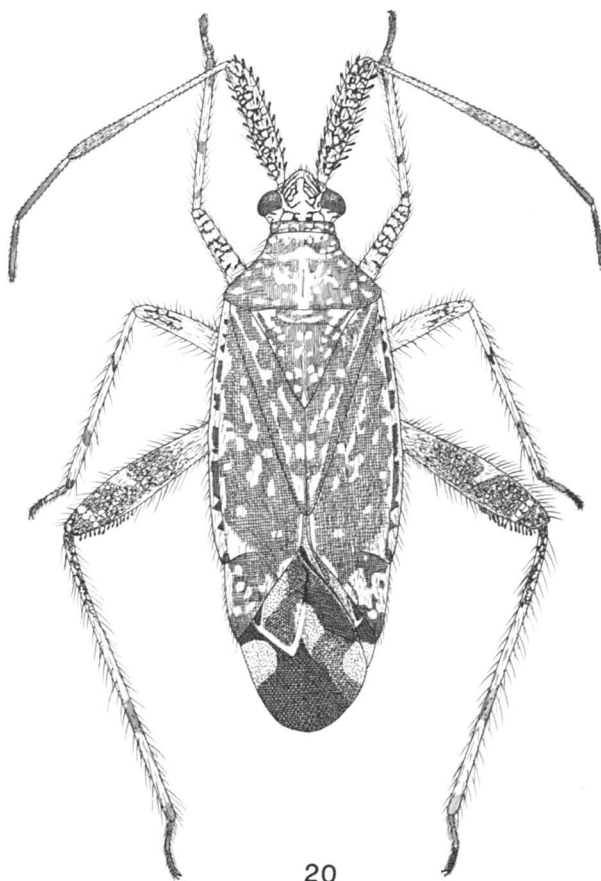
*Taedia pallidula* (McAtee)  
(Fig. 21)

*Paracalocoris hawleyi* var. *pallidulus* McAtee, 1916: 380.  
*Paracalocoris pallidulus*: Knight, 1930: 822.  
*Taedia pallidulus*: Carvalho, 1959: 262.

Length 6.3-7.0 mm; width 2.3-2.7 mm. Brown species mottled with yellow (Fig. 21).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-May and adults about mid-June; adults gradually die out by end of July. Phytophagous. Also breeds on hawthorn, adults readily migrate to nearby apple trees.

Distribution: New York, north central States; Saskatchewan, Manitoba, Ontario; now known to occur in Québec.



20

Figure 20. *Neurocolpus nubilus*Genus *Capsus* Fabricius

Black, shiny species. Carina between eyes absent. Pubescence simple, appressed.

One species introduced from Europe, was collected.

*Capsus ater* (Linnaeus)  
(Fig. 22)

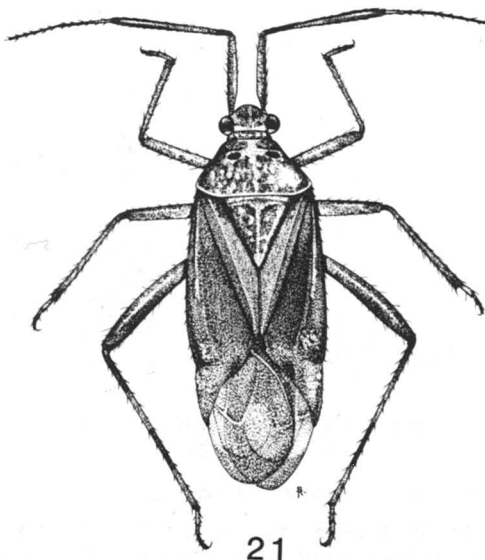
*Cimex ater* Linnaeus, 1758 : 447.

*Capsus ater* : Fabricius, 1803 : 241.

Length 5.7-6.1 mm; width 2.5-3.0 mm. Second antennal segment clavate (Fig. 22).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear in early May and adults in early June, often earlier; adults gradually die out by end of July. Phytophagous. Breeds on grasses but when grass is cut or during a dry season, adults migrate to nearly apple trees and feed on the fruit or foliage.

Distribution: Alaska, eastern USA; British Columbia, Ontario, Québec, Nova Scotia.



21

Figure 21. *Taedia pallidula*

Genus *Phytocoris* Fallén

Elongate, parallel-sided species. Eyes large, carina between them absent. Pronotum impunctate. Pubescence of two types, sericeous and simple. Legs long and slender.

The species in this genus all look alike and are difficult to identify by external

appearance. Thus males are identified by the details of genital claspers and females by association with males.

Eight species were collected. They overwinter in the egg stage. Nymphs appear about mid-June and adults about mid-July. The adults gradually die out by early September. All are predaceous.

KEY TO SPECIES OF *PHYTOCORIS*

- 1. First antennal segment thickened (Fig. 23) ..... *lasiomerus* Reuter
- First antennal segment slender (Fig. 24) ..... 2
- 2. Wing membrane speckled with dark spots or with pale spots (Figs. 24, 25) ..... 3
- Wing membrane marbled (Figs. 26-29) ..... 4
- 3. First antennal segment reddish brown with few small pale spots; femora mostly reddish brown (Fig. 24); right clasper (Fig. 11) ..... *corticevivens* Knight
- First antennal segment mostly pale with large brown areas; femora mostly pale with large connected brown areas (Fig. 25); claspers (Fig. 12) ..... *conspurcatus* Knight
- 4. Apical corium without large black area (Fig. 26); claspers (Fig. 13) ..... *salicis* Knight
- Apical corium with large black area (Figs. 27-29) ..... 5
- 5. Rostrum less than 2.4 mm long, scarcely extending beyond hind coxae; right clasper (Fig. 14) ..... *husseyi* Knight
- Rostrum more than 2.5 mm long, extending beyond hind coxa ..... 6
- 6. Rostrum 2.8 mm or longer; claspers (Fig. 15) ..... *neglectus* Knight
- Rostrum shorter than 2.6 mm ..... 7
- 7. Left clasper with a large knobbed process near base; right clasper curved with small knob at middle (Fig. 16) ..... *erectus* Van Duzee
- Left clasper with short slender process; right clasper straight, forked (Fig. 17) ..... *canadensis* Van Duzee

*Phytocoris lasiomerus* Reuter  
(Fig. 23)

*Phytocoris lasiomerus* Reuter, 1909: 34.

Length 7.3-8.0 mm; width 2.1-2.2 mm. Head yellowish brown marked with red. First antennal segment thickened with long, black bristles. Second antennal segment pale, apex black. Pronotum, scutellum and hemelytra pale, often with reddish tinge. Wing membrane reticulate (Fig. 23).

Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids, and other small arthropods.

Distribution: transcontinental in northern USA; British Columbia, Prairie Provinces, Ontario, Québec.

*Phytocoris corticevivens* Knight  
(Figs. 11, 24)

*Phytocoris corticevivens* Knight, 1920: 63.

Length 6.6-6.8 mm; width 2.3-2.5 mm. Head brown. First antennal segment long and slender, reddish brown, with few pale

spots; second segment reddish brown, base and narrow area at middle pale. Pronotum, scutellum and hemelytra dark brown, corium with rounded pale spot at apex. Wing membrane reticulate.

Nymphs and adults prey on mites and aphids, and other small arthropods.

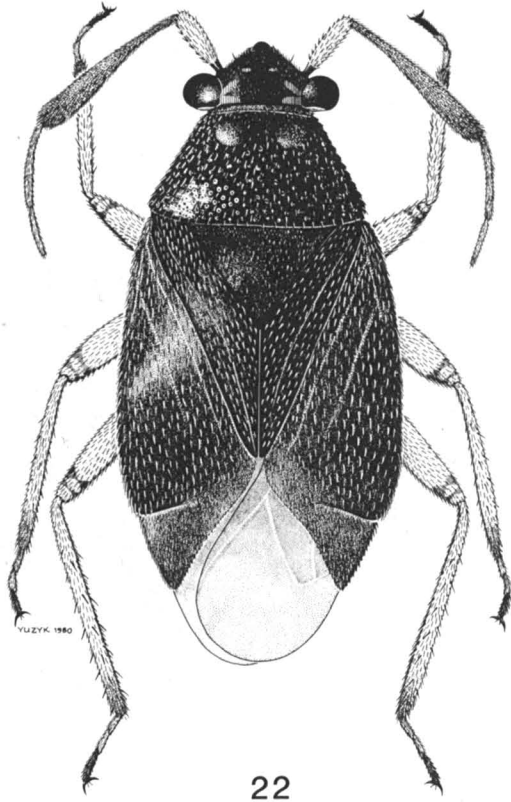
This species is distinguished by the long and slender first antennal segment, by the overall dark brown color (Fig. 24), and by the claspers (Fig. 11). Collected on trunks, usually hiding in the crevices of the bark.

Distribution: Texas, north central and northwestern USA; Nova Scotia, Québec, Ontario.

*Phytocoris conspurcatus* Knight  
(Figs. 12, 25)

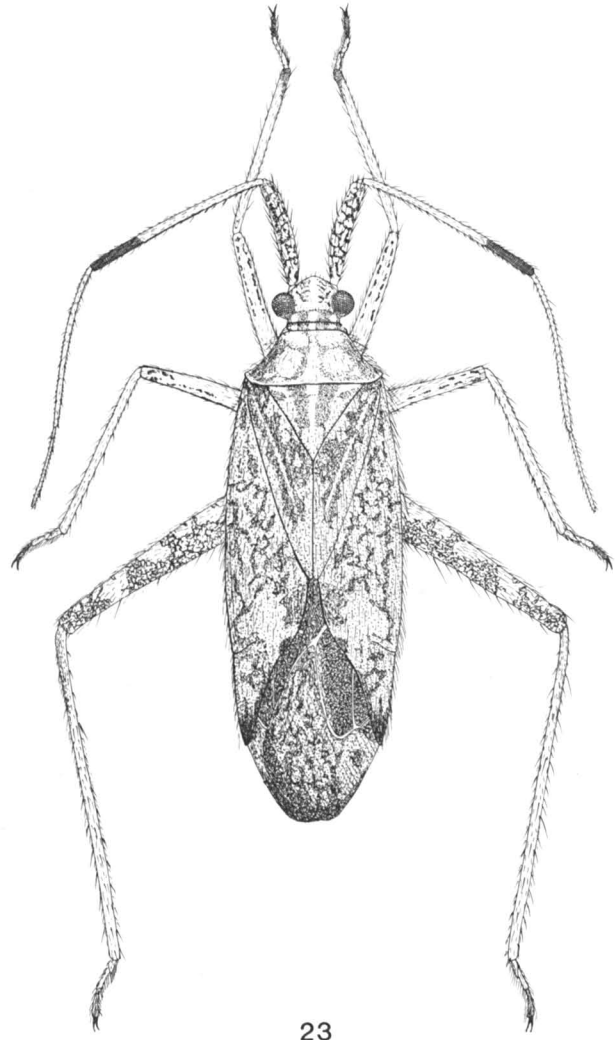
*Phytocoris conspurcatus* Knight, 1920: 61.

Length 5.7-5.9 mm; width 2.1-2.3 mm. Head gray with brown and reddish brown markings. Second antennal segment brown, base and narrow area at middle pale. Heme-



22

Figure 22. *Capsus ater*



23

Figure 23. *Phytocoris lasiomerus*

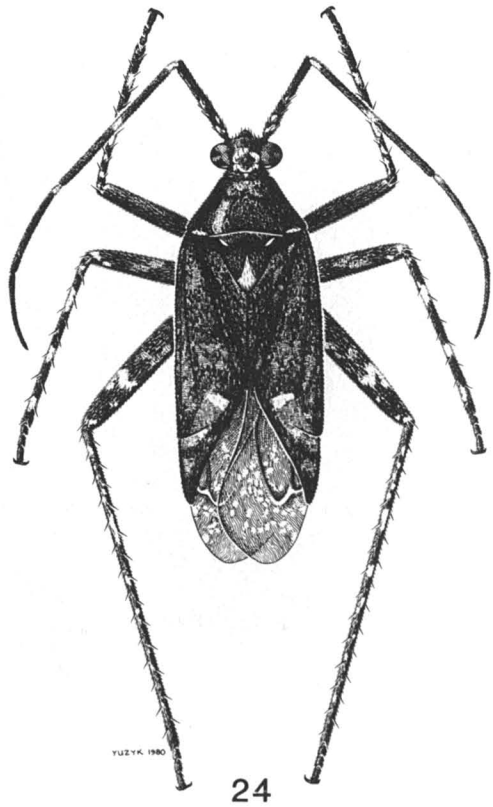


Figure 24. *Phytocoris corticevicens*

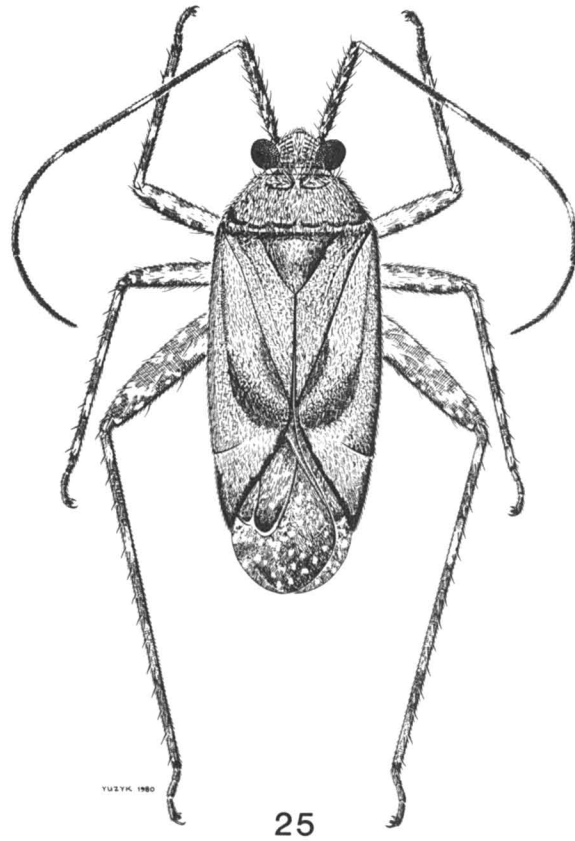


Figure 25. *Phytocoris conspurcatus*

lytra gray marked with brown. Sericeous pubescence white and black. Wing membrane reticulate (Fig. 25).

Nymphs and adults prey on mites, aphids and small caterpillars.

This species is distinguished by the banded second antennal segments and by the claspers (Fig. 12). Collected on trunks and branches.

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Québec, Ontario, Prairie Provinces, British Columbia.

*Phytocoris salicis* Knight  
(Figs. 13, 26)

*Phytocoris salicis* Knight, 1920: 56.

Length 5.6-6.1 mm; width 2.1-2.3 mm. Head, pronotum and hemelytra light brown mottled with black. Corium uniformly light brown. Wing membrane marbled (Fig. 26).

Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids, and other soft bodied arthropods.

This species is distinguished by the claspers (Fig. 13).

Distribution: eastern and central USA; Québec, Ontario, Manitoba, Saskatchewan.

*Phytocoris husseyi* Knight  
(Figs. 14, 27)

*Phytocoris husseyi* Knight, 1923: 639.

Length 5.2-5.9 mm; width 1.9-2.1 mm. Head gray marked with dark brown. Rostrum less than 2.4 mm, scarcely extends beyond hind coxae. Hemelytra gray mottled with black; apical corium with large black area; sericeous pubescence occurs in clumps. Wing membrane marbled (Fig. 27).

Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids and small caterpillars.

This species is distinguished by the short rostrum, and by the straight right clasper (Fig. 14).

Distribution: Minnesota, Ohio; now known to occur in Québec.

*Phytocoris neglectus* Knight  
(Fig. 15)

*Phytocoris neglectus* Knight, 1920: 54.

Length 6.1-6.5 mm; width 2.1-2.3 mm. Head brown. Rostrum 2.8 mm or longer. Hemelytra light brown mottled with brown;

apical half of corium with large oblique black area. Wing membrane marbled (Fig. 15).

Nymphs and adults prey on aphids and mites. Knight (1941) observed the species preying on psocids.

This species is very similar to *husseyi* in appearance but is larger and has a longer rostrum. It is also distinguished by the claspers (Fig. 15).

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Québec, Ontario, Prairie Provinces, British Columbia.

*Phytocoris erectus* Van Duzee  
(Figs. 16, 28)

*Phytocoris erectus* Van Duzee, 1920: 345.

Length 5.4-5.8 mm; width 1.9-2.3 mm. Head yellowish brown marked with reddish brown. Hemelytra gray marked with brown; apical corium with dark brown oblique area and large gray area just behind. Wing membrane marbled (Fig. 28).

Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids, and small caterpillars.

This species is distinguished by the uniformly gray and brown hemelytra, by the large gray area on apical half of corium (Fig. 28), and by the claspers (Fig. 16).

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Québec, Ontario, Saskatchewan.

*Phytocoris canadensis* Van Duzee  
(Figs. 17, 29)

*Phytocoris canadensis* Van Duzee, 1920: 346.

Length 5.2-5.7 mm; width 1.8-2.0 mm. Head yellowish brown marked with reddish brown. Hemelytra gray shaded with brown, apical half of corium with large oblique black area. Wing membrane marbled (Fig. 29).

Nymphs and adults prey on aphids, mites, and other small arthropods.

This species is similar to *erectus* in appearance but differs from it by the forked right clasper (Fig. 17).

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Ontario, now known to occur in Québec.

Genus *Lygidea* Reuter

Elongate, reddish brown species. Head nearly vertical, eyes nearly spherical, carina



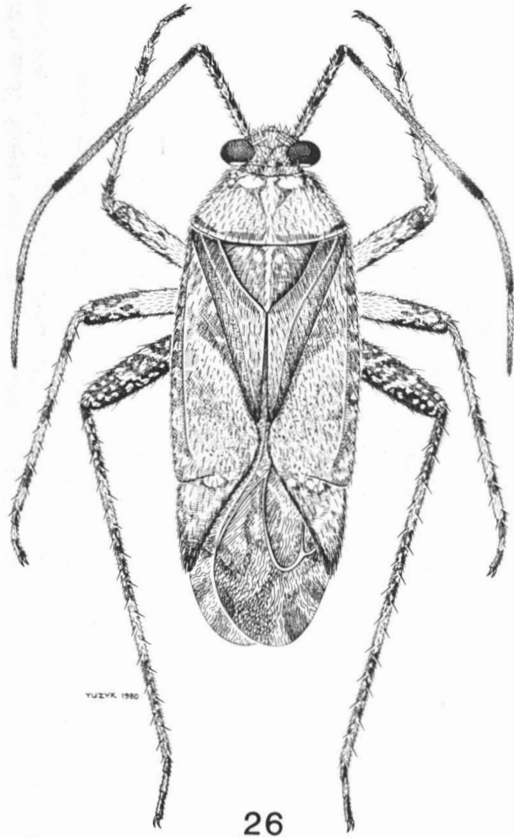


Figure 26. *Phytocoris salicis*

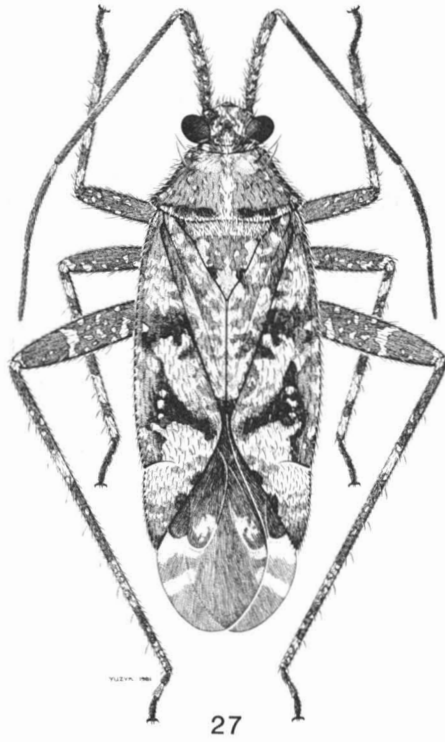


Figure 27. *Phytocoris husseyi*

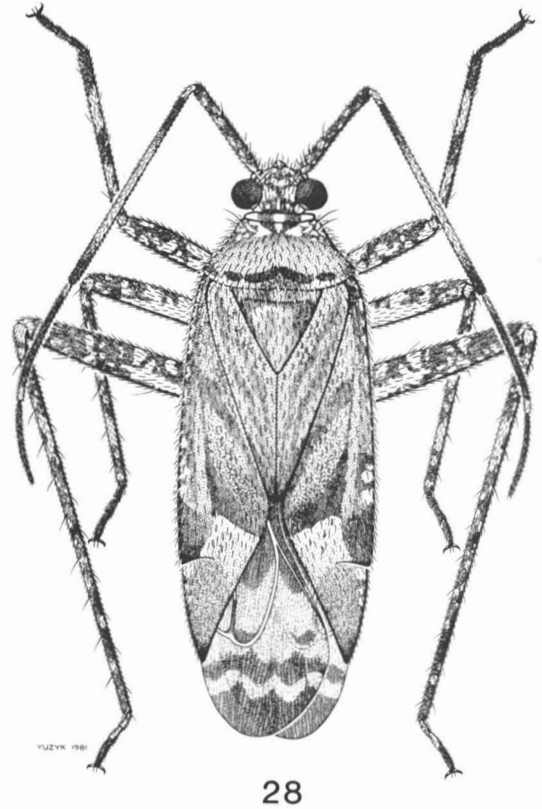


Figure 28. *Phytocoris erectus*

between them distinct. Pronotum and hemelytra deeply punctate; pubescence simple, long and dense.

One species was collected.

*Lygidea mendax* Reuter  
(Figs. 8, 30)

*Lygidea mendax* Reuter, 1909: 47.

Length 6.2-6.5 mm; width 2.1-2.3 mm. Head orange or red. Antennae black. Pronotum orange, coarsely punctate. Hemelytra mostly brown, costal margins red (Fig. 30).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-May and the adults about mid-June. The adults die out by the end of July. Nymphs and adults feed on leaf buds and fruit. Rivard & Paradis (1978) reported the species as a pest of apple in Québec.

This species is distinguished by the orange or red head and pronotum.

Distribution: north eastern and north central USA; Nova Scotia, New Brunswick, Québec, Ontario.

Genus *Lygus* Hahn

Elongate-oblong, reddish brown species. Eyes large, carina between them distinct. Pronotum and hemelytra coarsely punctate. Pubescence simple.

One species was collected.

*Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois)  
(Figs. 9, 10, 31)

*Capsus lineolaris* Palisot de Beauvois, 1818: 187.

*Lygus oblineatus* Say, 1832: 21.

*Capsus flavonotatus* Provancher, 1872: 103.

*Lygus lineolaris*: Uhler, 1872: 413.

Length 4.9-5.9 mm; width 2.3-3.0 mm. Head yellowish brown, frons with red or black submedian oblique bars. Mesoscutum black, lateral areas pale or reddish. Hemelytra yellowish or reddish brown; pubescence yellow, long, dense.

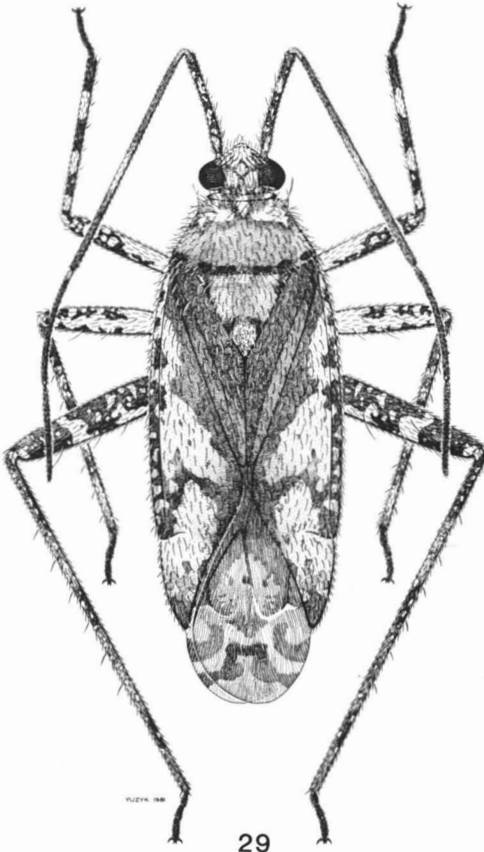


Figure 29. *Phytocoris canadensis*

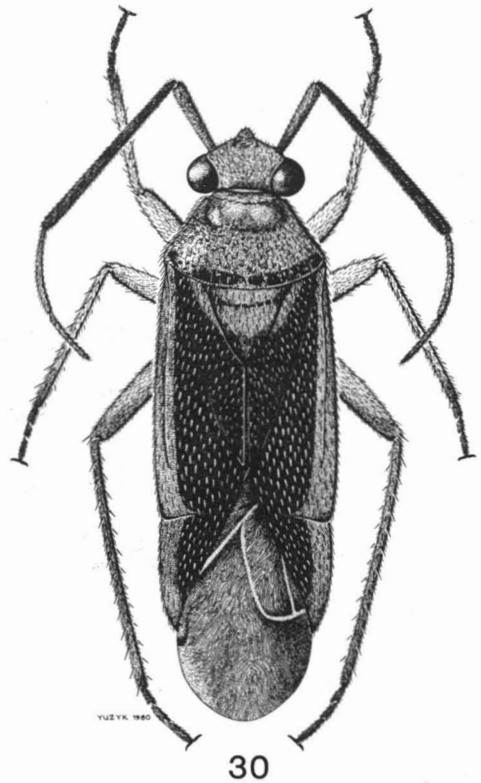


Figure 30. *Lygidea mendax*

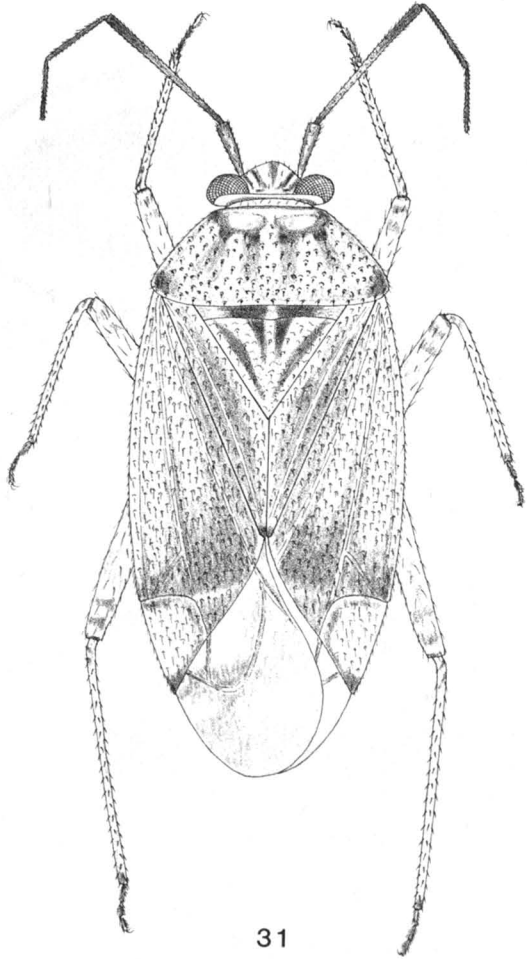


Figure 31. *Lygus lineolaris*

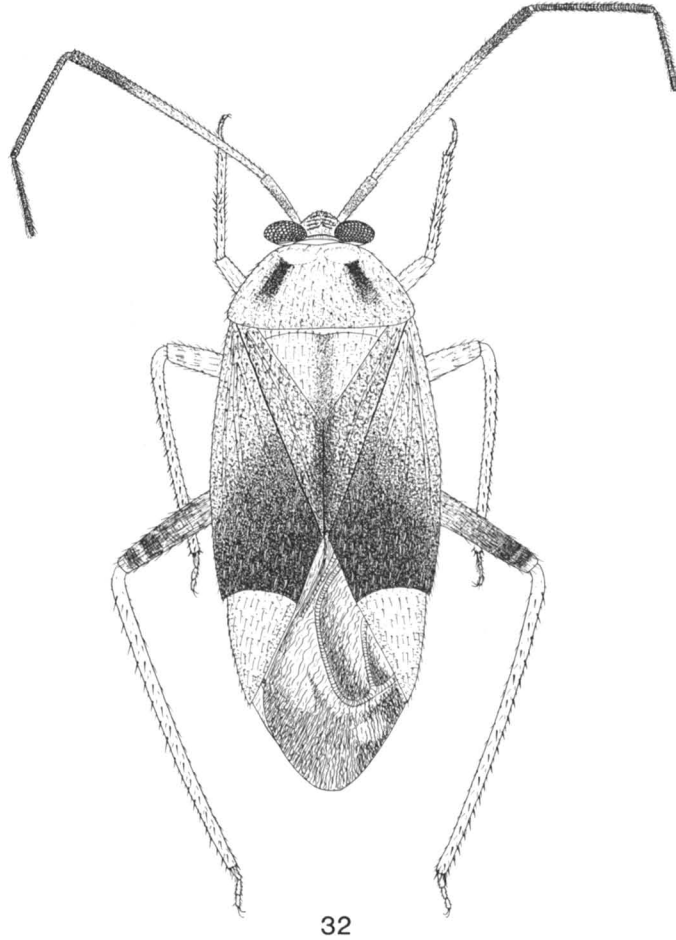


Figure 32. *Lygocoris communis*

Adults hibernate under bark or in debris on the ground. Adults emerge in early spring and feed on the buds, mate, and oviposit. The nymphs appear about the end of May or early June, the new generation adults about the end of June or early July. Overwintered adults gradually die out by the end of July, and new generation adults continue to feed until hibernation. Nymphs and adults feed on leaf buds, leaves and fruit.

This is the most common and most omnivorous pest known as the tarnished plant bug. It has been reported to damage all fruit crops, vegetable crops, alfalfa and clover crops, cotton and tobacco crops, and ornamental flower crops.

Distribution: Mexico, widespread in USA and Canada.

#### Genus *Lygocoris* Reuter

Elongate-oblong, green and brown species. Eyes large, carina between them distinct. Pronotum and hemelytra finely punctate; pubescence simple, long and dense.

One species was collected.

#### *Lygocoris communis* Knight (Fig. 32)

*Lygus communis* Knight, 1916 : 346.

*Neolygus communis* : Knight, 1941 : 159.

*Lygocoris communis* : Carvalho, 1959 : 141.

Length 5.1-5.9 mm; width 2.2-2.6 mm. Head yellowish with transverse reddish bars. Pronotum yellowish green with reddish or black ray behind each callus. Hemelytra yellowish green on basal half, reddish brown on apical half (Fig. 32).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear in early May and adults in early June. The adults are short lived, and after mating, the females oviposit in the tender new growth and gradually die out by the end of July. Phytophagous, the damage to apples is done by the nymphs in May and by the adults in June and early July.

This species is commonly known as the pear plant bug.

Distribution: transcontinental across central North America.

### Subfamily Orthotylinae Van Duzee

This is the second largest subfamily in North America. Species are distinguished by large and free parempodia converging at apices, and by the small and depressed pronotal collar. The subfamily is represented by the tribes Orthotylini and Pilophorini, 5 genera, and 8 species. Four species are new provincial records.

#### KEY TO TRIBES OF ORTHOTYLINAE

1. Hemelytra without transverse bands of silvery sericeous pubescence .....Orthotylini
- Hemelytra with transverse bands of silvery sericeous pubescence (Fig. 41) ....Pilophorini

#### Tribe Orthotylini

Four genera are represented by this tribe. Six species are predaceous, one phytophagous.

#### KEY TO GENERA OF ORTHOTYLINI

1. Antennal segments 3 and 4 nearly as thick as apex of second (Figs. 33-36) .....  
.....*Ceratocapsus* Reuter
- Antennal segments 3 and 4 thinner than apex of second (Fig. 37) .....2
2. Hemelytra with two types of pubescence, simple and sericeous (Figs. 37, 38) .....  
.....*Heterocordylus* Fieber
- Hemelytra with simple pubescence only .....3
3. Head black (Fig. 39) .....*Paraproba* Distant
- Head green (Fig. 40) .....*Diaphnocoris* Kelton

Genus *Ceratocapsus* Reuter

Elongate or oval dark brown species. Basal margin of head overlaps apical portion of pronotum. Eyes prominent, carina between them distinct. Pronotum and hemelytra smooth or punctate. Pubescence simple or both simple and sericeous.

Four species were collected, all are pre-  
 daecious, and overwinter in the egg stage.  
 The nymphs appear in early June and adults  
 in early July. The adults are active through-  
 out July and August and gradually die out by  
 September.

KEY TO SPECIES OF *CERATOCAPSUS*

- 1. Pronotum and hemelytra smooth (Fig. 33) .....*modestus* Uhler  
 Pronotum and hemelytra punctate ..... 2
- 2. Hind femora pale yellow (Fig. 34) .....*digitulus* Knight  
 Hind femora brown or red ..... 3
- 3. Species dark brown, cuneus brown (Fig. 35) .....*pumilus* (Uhler)  
 Species reddish brown, cuneus reddish (Fig. 36) .....*fuscinus* Knight

*Ceratocapsus modestus* (Uhler)  
 (Fig. 33)

*Melina modesta* Uhler, 1887: 69.  
*Ceratocapsus modestus*: Smith, 1909: 161.

Length 4.3-4.5 mm; width 1.6-1.8 mm. Head light to dark brown, pronotum and scutellum dark brown; hemelytra light to dark brown; impunctate; pubescence simple with long and short hairs (Fig. 33).

Nymphs and adults prey on mites and aphids.

This species is distinguished by the impunctate pronotum and hemelytra, and by the simple, long and short pubescence (Fig. 33).

Distribution: eastern and central USA; Ontario, Québec, Manitoba, Saskatchewan.

*Ceratocapsus digitulus* Knight  
 (Fig. 34)

*Ceratocapsus digitulus* Knight, 1923: 533.

Length 3.5-3.8 mm; width 1.6-1.8 mm. Head, pronotum, scutellum and hemelytra brown. Hemelytra and pronotum punctate. Dorsum with erect simple pubescence intermixed with closely appressed sericeous hairs. Legs pale yellow (Fig. 34).

Nymphs and adults prey on mites and aphids.

This species is distinguished by the pale yellow first and second antennal segments, and by the pale yellow femora.

Distribution: eastern and central USA; Manitoba, Ontario; now known to occur in Québec.

*Ceratocapsus pumilus* (Uhler)  
 (Fig. 35)

*Melina pumila* Uhler, 1887: 69.  
*Ceratocapsus pumilus*: Van Duzee, 1909: 182.

Length 3.7-3.9 mm; width 1.5-1.7 mm. Head, pronotum, and hemelytra dark brown. Antennae mostly light brown. Pronotum and hemelytra punctate. Dorsum with erect simple pubescence intermixed with closely appressed sericeous hairs. Legs brown (Fig. 35).

Nymphs and adults prey on mites and aphids.

This is the most abundant species of *Ceratocapsus* in the apple orchards.

Distribution: eastern USA; Ontario, Québec.

*Ceratocapsus fuscinus* Knight  
 (Fig. 36)

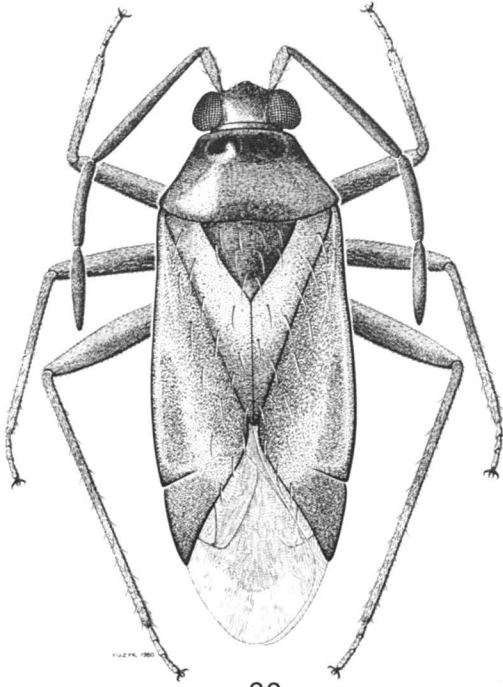
*Ceratocapsus fuscinus* Knight, 1923: 531.

Length 3.6-3.7 mm; width 1.5-1.6 mm. Head yellow; first and second antennal segments yellow. Pronotum and hemelytra reddish brown, cuneus reddish; punctate; pubescence similar to that of *pumilus*. Hind femur reddish (Fig. 36).

Nymphs and adults prey on mites and aphids.

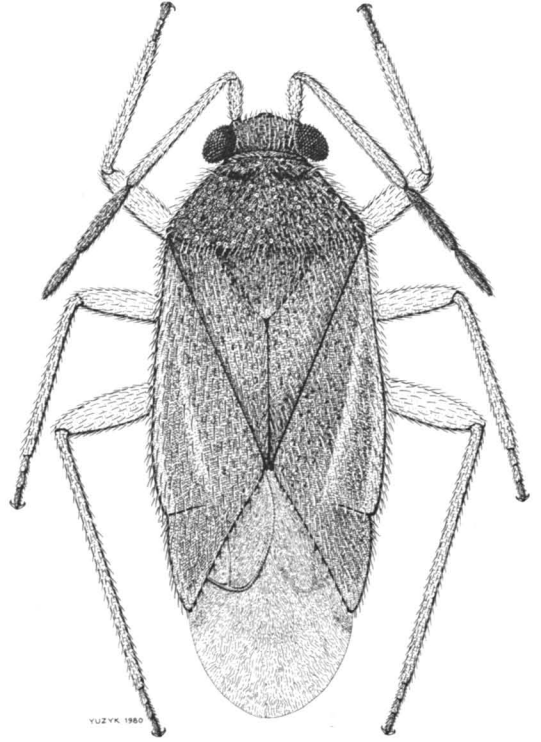
This species is similar to *pumilus* in size and appearance but is more reddish.

Distribution: eastern USA; Ontario, now known to occur in Québec.



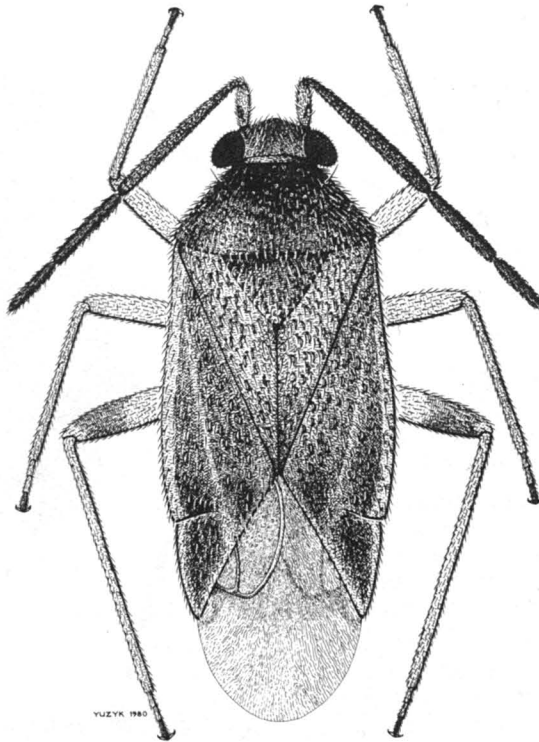
33

Figure 33. *Ceratocapsus modestus*



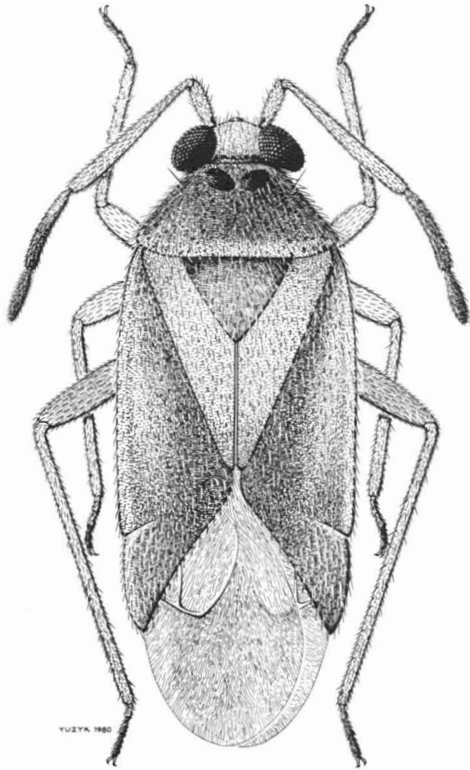
34

Figure 34. *Ceratocapsus digitulus*



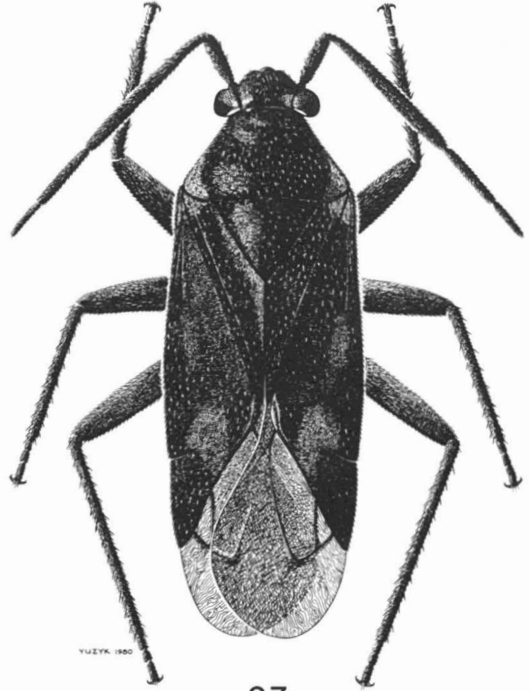
35

Figure 35. *Ceratocapsus pumilus*



36

Figure 36. *Ceratocapsus fuscinus*



37

Figure 37. *Heterocordylus malinus*, male

Genus *Heterocordylus* Fieber

Robust, black or black and red species. Base of head sharply truncate. Pronotum rugose, hemelytra impunctate; pubescence simple and scalelike. Legs black.

One species was collected.

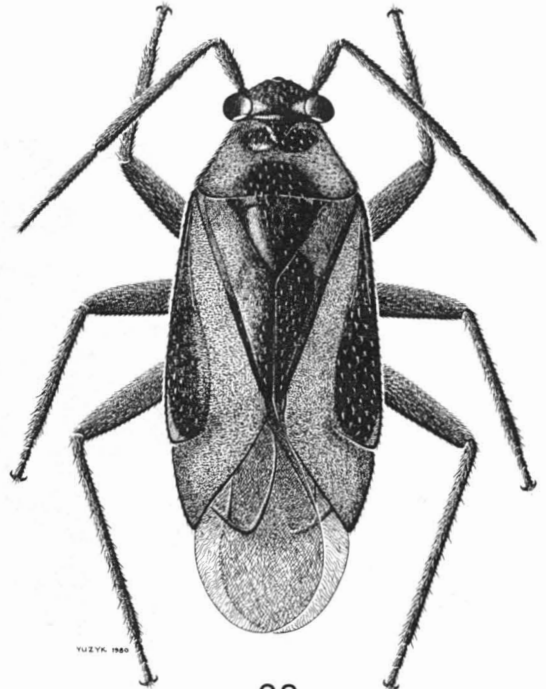
*Heterocordylus malinus* Reuter  
(Figs. 37, 38)

*Heterocordylus malinus* Reuter, 1909: 71.

Length 6.3-7.0 mm; width 2.1-2.3 mm. Head and scutellum black. Pronotum and hemelytra black or black and red.

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear in early May and adults in early June. The adults gradually die out by the end of July. Nymphs and adults feed on the new shoots and fruit. Also breeds on hawthorn, adults readily migrate to nearby apple.

This species is distinguished by the white scaly pubescence. Males are black (Fig. 37) and females black and red (Fig. 38).



38

Figure 38. *Heterocordylus malinus*, female

Distribution: eastern USA; Ontario: now known to occur in Québec.

#### Genus *Paraproba* Distant

Slender, pale green, delicate species. Head vertical, black, carina between eyes absent. Pronotum and hemelytra pale green with simple pubescence.

One species was collected.

#### *Paraproba capitata* (Van Duzee) (Fig. 39)

*Diaphnidia capitata* Van Duzee, 1912: 490.

*Diaphnocoris capitata*: Kelton, 1961, 566.

*Paraproba capitata*: Kelton, 1965: 1028.

Length 3.0-3.5 mm; width 0.9-1.1 mm. Head and first antennal segments black. Pronotum and hemelytra pale green (Fig. 39).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about the end of May and adults the end of June. Adults are active throughout July and August and gradually die out by early September. Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids, immature leafhoppers, and other soft bodied arthropods.

This species is distinguished by the contrastingly black head.

Distribution: northeastern and north central USA; Nova Scotia, Québec, Ontario.

#### Genus *Diaphnocoris* Kelton

Slender, pale green species. Eyes large, located near middle of head. Head, pronotum and hemelytra pale green; pubescence simple.

One species was collected.

#### *Diaphnocoris provancheri* (Burque) (Fig. 40)

*Malacoris provancheri* Burque in Provancher, 1887: 144.

*Diaphnidia pellucida* in Gillette & Baker, 1895: 44.

*Diaphnocoris provancheri*: Kelton, 1980a: 343.

Length 4.2-4.7 mm; width 1.4-1.5 mm. General coloration green. Eyes situated forward from posterior margin of head.

Second antennal segment and hind tibia often black (Fig. 40).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-May and adults about mid-June. Adults are active throughout July and August and gradually die out by mid-September. Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids and other soft bodied arthropods. Lord (1971) reported two generations on apple.

Distribution: widespread in USA; trans-continental in Canada.

#### Tribe Pilophorini Reuter

The tribe is represented by one genus and one species.

#### Genus *Pilophorus* Hahn

Antlike, black or brown species. Base of head convex, overlapping apex of pronotum. Scutellum tumid with clumps of sericeous pubescence. Hemelytra constricted at middle, banded with transverse bars of sericeous pubescence.

One species was collected.

#### *Pilophorus perplexus* Douglas & Scott (Fig. 41)

*Pilophorus perplexus* Douglas & Scott, 1875: 101.

Length 4.2-4.4 mm; width 1.4-1.5 mm. Head, pronotum and scutellum brown to black. Hemelytra brown, pruinose.

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-June and the adults about mid-July. The adults are active throughout July and August, and gradually die out by mid-September. Nymphs and adults prey on aphids, mites, and other soft bodied arthropods.

This species is distinguished by the antlike appearance, and by the transverse silvery lines on the clavus and corium (Fig. 41).

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Ontario; now known to occur in Québec.

### Subfamily Phylinae Douglas & Scott

This is the third largest subfamily in North America. Species are distinguished by straight hairlike parempodia between the claws, and by presence of pulvilli.



The subfamily is represented by the tribe Phylini, three genera, and four species. One species is predaceous, three are predaceous and phytophagous. One species is a new provincial record.

KEY TO GENERA OF PHYLINI

- 1. Dorsum with white scaly pubescence intermixed with simple hairs (Fig. 42) ..... *Lepidopsallus* Knight  
     Dorsum without scaly pubescence, only simple hairs ..... 2
- 2. Length over 4.0 mm; head, pronotum and hemelytra mostly black (Figs. 43, 44) .... *Plagiognathus* Fieber  
     Length less than 3.0 mm; head pronotum and hemelytra yellowish green (Fig. 45) .. *Campylomma* Reuter

Genus *Lepidopsallus* Knight

Ovate, black species. Base of head truncate. Pronotum and hemelytra finely rugose; pubescence scaly intermixed with simple black hairs. Legs black.

One species was collected.

*Lepidopsallus minisculus* Knight  
(Fig. 42)

*Lepidopsallus minisculus* Knight, 1923: 472.

Length 2.6-2.8 mm; width 1.3-1.7 mm. Black; scaly pubescence silvery, simple pubescence black (Fig. 42).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-May and adults about mid-June. Adults are active throughout July and August, and gradually die out by the end of August. Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, aphids and other small arthropods.

Distribution: New York; Ontario, now known to occur in Québec.

Genus *Plagiognathus* Fieber

Elongate-oval, black or black and green species. Pubescence simple, dense. Tibiae with black spots.

Two species were collected.

KEY TO SPECIES OF *PLAGIOGNATHUS*

- 1. Hemelytra black with only base of cuneus pale green (Fig. 43) ..... *politus* Uhler  
     Hemelytra with pale markings (Fig. 44) ..... *obscurus* Uhler

*Plagiognathus politus* Uhler  
(Fig. 43)

*Plagiognathus politus* Uhler in Gillette & Baker, 1895: 52.

Length 3.5-3.8 mm; width 1.3-1.5 mm. Head, pronotum and hemelytra black; base of cuneus pale green. Femora black (Fig. 43).

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-May and adults about mid-June. Adults are active throughout July and August and gradually die out by mid-September. Nymphs and adults prey on mites and aphids, and also feed on the fruit.

Distribution: widespread in USA; Ontario, Québec.

*Plagiognathus obscurus* Uhler  
(Fig. 44)

*Plagiognathus obscurus* Uhler, 1872: 418.  
*Lygus bruneus* Provancher, 1872: 104.

Length 4.2-4.6 mm; width 1.5-1.6 mm. Head black; pronotum black, often yellow at middle; hemelytra black with pale markings. Femora pale green.

Life history similar to that of *politus*, but also preys on small caterpillars.

This species is distinguished by the pale green areas on the hemelytra (Fig. 44).

Distribution: widespread in USA; trans-continental in Canada.

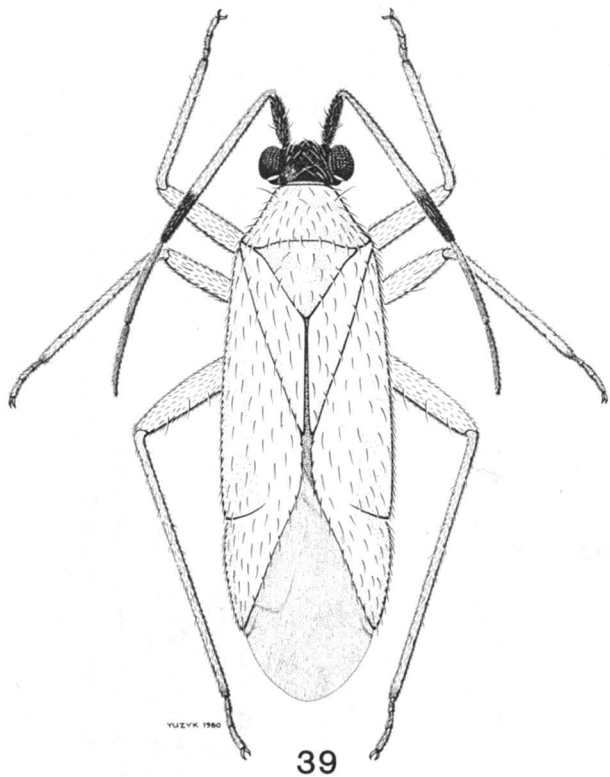


Figure 39. *Paraproba capitata*

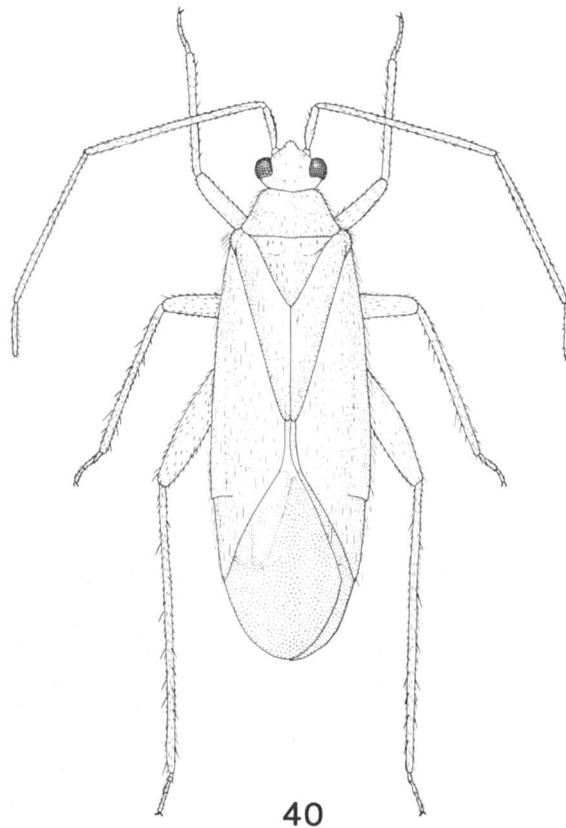


Figure 40. *Diaphnocoris provancheri*

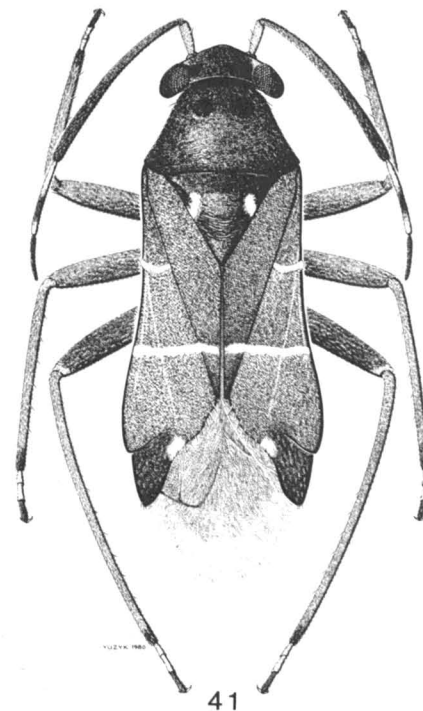


Figure 41. *Pilophorus perplexus*

Genus *Campylomma* Reuter

Small, yellowish green species. Pubescence simple and sericeous. Ventral surface black; legs green spotted with black.

One species, introduced from Europe, was collected.

*Campylomma verbasci* (Meyer)  
(Fig. 45)

*Capsus verbasci* Meyer, 1843: 70.

*Campylomma verbasci*: Reuter, 1878: 53.

Length 2.6-2.8 mm; width 1.1-1.3 mm. Head yellow, clypeus often black. Antennae green, apex of first segment and base of second segment black.

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear about mid-May and adults about mid-June. Adults are active throughout July and August, and gradually die out in early September. Nymphs and adults prey on mites, aphids and immature leafhoppers; also phytophagous. Gilliatt (1935), and McMullen & Jong (1970), reported two, and three or four generations per year, respectively.

The species is distinguished by the small size and the yellowish green color (Fig. 45).

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Québec, Ontario, British Columbia.

**Subfamily Deraeocorinae Douglas & Scott**

This subfamily is a relatively small. Species are distinguished by the deeply punctate pronotum, by the prominent pronotal collar, by the hairlike parempodia, and by the deeply cleft claws. The subfamily is represented by the tribes Hyaliadini and Deraeocorini, two genera, and six species. All species are predaceous. One species is a new provincial record.

KEY TO TRIBES OF DERAEOCORINAE

- 1. Eyes situated forward from posterior margin of head; hemelytra transparent, wing membrane with one cell (Figs. 18, 46, 47) ..... Hyaliadini
- Eyes situated near posterior margin of head; hemelytra opaque, wing membrane with two cells (Figs. 19, 48-51) ..... Deraeocorini

Tribe Hyaliadini

Two species belonging to the genus *Hyaliodes* were collected.

Genus *Hyaliodes* Reuter

Elongate, shiny species. Eyes removed from pronotum, neck distinct. Pronotum deeply punctate. Hemelytra transparent,

wing membrane with one cell; pubescence simple.

Two species were collected. Overwinter in the egg stage. Nymphs appear about the first part of June and the adults about the first part of July. Adults are active throughout July and August, and gradually die out by mid-September.

KEY TO SPECIES OF HYALIODES

- 1. Collar and calli pale green; scutellum mostly pale green; apical margin of corium black (Fig. 46) ..... *vitripennis* (Say)
- Collar and calli black; scutellum black at base; apical margin of corium red (Fig. 47) ..... *harti* Knight

*Hyaliodes vitripennis* (Say)  
(Fig. 46)

*Capsus vitripennis* Say, 1832: 24.

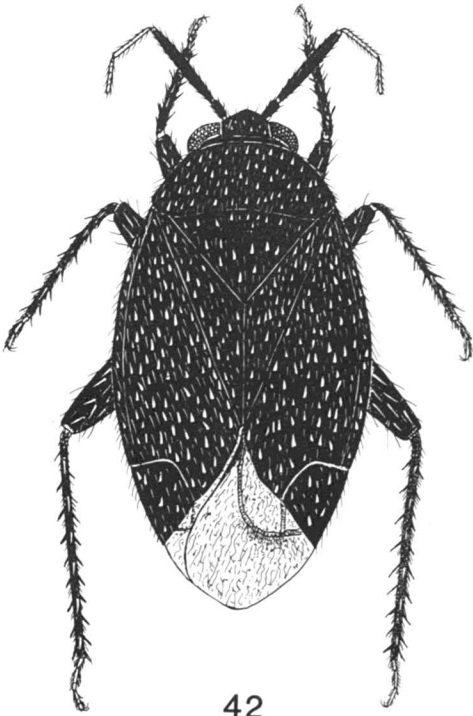
*Hyaliodes vitripennis*: Riley, 1870: 137.

Length 4.6-4.9 mm; width 1.5-1.8 mm. Collar and pronotum pale green, basal area

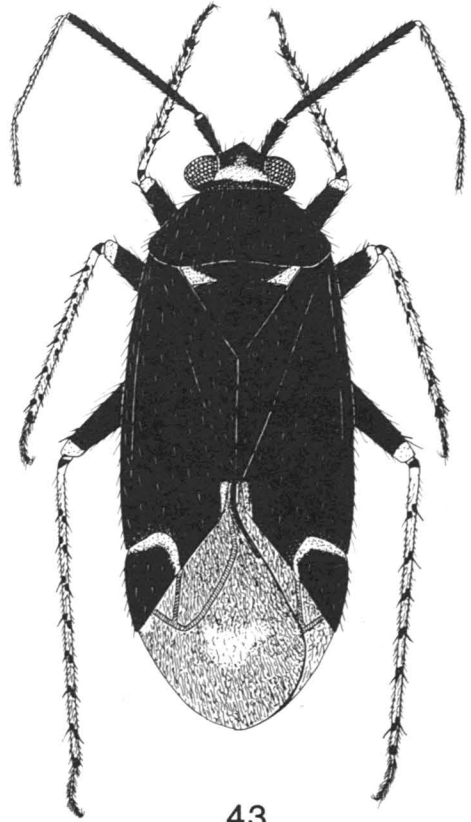
of pronotum adjacent to scutellum often black. Inner margin of clavus and apical margin of corium black (Fig. 46).

Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, and aphids.

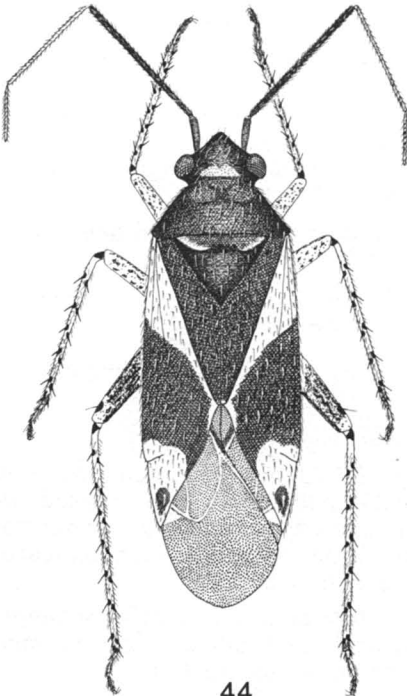
This species is distinguished by the pale



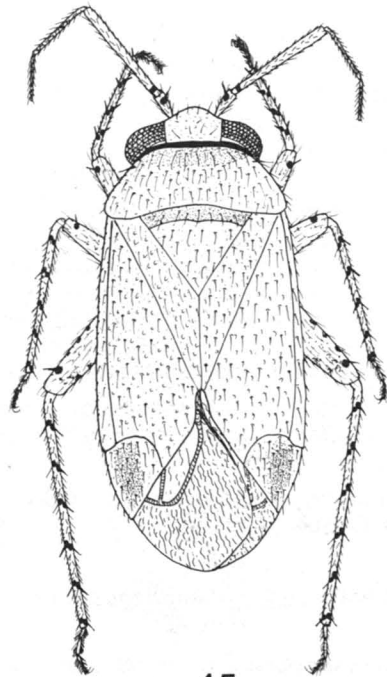
42  
Figure 42. *Lepidopsallus minisculus*



43  
Figure 43. *Plagiognathus politus*



44  
Figure 44. *Plagiognathus obscurus*



45  
Figure 45. *Campylomma verbasci*

green collar and calli, and by the black apical margin of corium.

Distribution: eastern USA; Ontario, Québec.

*Hyaliodes harti* Knight  
(Fig. 47)

*Hyaliodes harti* Knight, 1941: 57.

Length 5.0-5.3 mm; width 1.5-1.8 mm. Head pale green tinged with red. Pronotum pale green, collar and calli black. Apical margin of corium red (Fig. 47).

Nymphs and adults prey on mites, mite eggs, and aphids.

This species is distinguished by the black collar and calli, and by the red apical margin of corium.

Distribution: eastern USA; Nova Scotia, Ontario, Prairie Provinces, British Columbia, now known to occur in Québec.

Tribe Deraeocorini Douglas & Scott

Four species belonging to the genus *Deraeocoris* were collected.

Genus *Deraeocoris* Kirschbaum

Robust, dark species. Eyes large, widely separated; frons smooth. Pronotum and hemelytra strongly punctate; pubescence simple, short. Wing membrane with two cells.

KEY TO SPECIES OF *DERAEOCORIS*

1. Scutellum punctate (Fig. 48) ..... *nebulosus* (Uhler)  
Scutellum impunctate (Figs. 49-51) ..... 2
2. Wing membrane infuscated but without rounded spot at apical half; pronotum and hemelytra grayish (Fig. 49) ..... *aphidiphagus* Knight  
Wing membrane with distinct fuscous spot on apical half; pronotum and hemelytra brown (Figs. 50, 51) ..... 3
3. Pronotum without black rays behind calli (Fig. 50) ..... *fasciolus* Knight  
Pronotum with black rays behind calli (Fig. 51) ..... *borealis* (Van Duzee)

*Deraeocoris nebulosus* (Uhler)  
(Fig. 48)

*Camptobrochis nebulosus* Uhler, 1872: 417.

*Deraeocoris nebulosus*: Knight, 1921: 91.

Length 3.2-4.0 mm; width 1.4-1.9 mm. Generally light brown marked with black. Calli punctate. Wing membrane mostly clear, spot near outer margin fuscous (Fig. 48).

Adults hibernate. Adults emerge in early spring, mate, oviposit, and gradually die out by the end of July. Nymphs appear in early May and new generation adults in early June; adults are active until hibernation. Nymphs and adults prey on mites, aphids, small caterpillars, and other small arthropods.

This is the smallest species of *Deraeocoris* encountered. It is distinguished by the punctate scutellum.

Distribution: widespread in USA; Nova Scotia, Québec, Ontario.

*Deraeocoris aphidiphagus* Knight  
(Fig. 49)

*Deraeocoris aphidiphagus* Knight, 1921: 134.

Length 5.7-6.6 mm; width 2.8-3.2 mm. Generally grayish marked with black. Calli black. Scutellum impunctate.

Overwinters in the egg stage. Nymphs appear in early May and the adults in early June. Adults are active throughout July and August, and gradually die out by September. Nymphs and adults prey on aphids, and are usually found in the leaf curls.

This species is distinguished by the grayish color of the hemelytra.

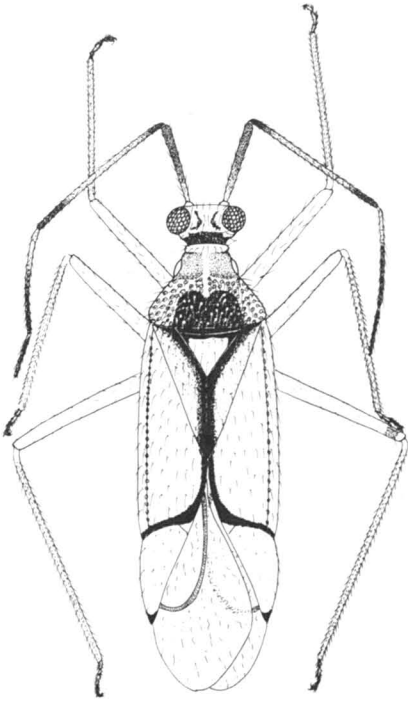
Distribution: eastern USA; eastern Canada, Prairie Provinces.

*Deraeocoris fasciolus* Knight  
(Fig. 50)

*Deraeocoris fasciolus* Knight, 1921: 123.

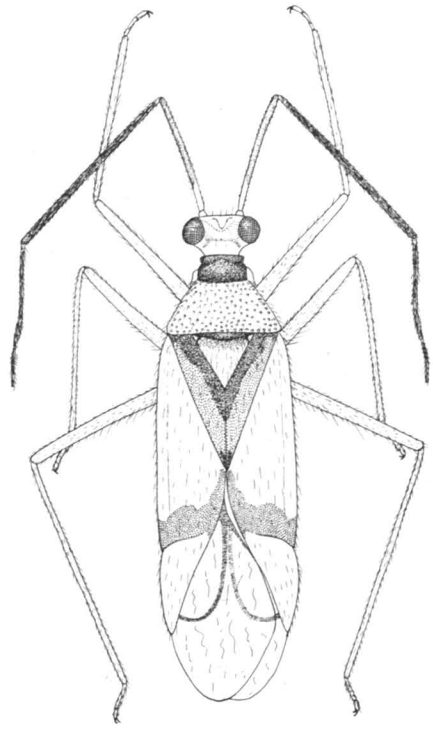
Length 6.3-7.0 mm. Pronotum light brown with black punctures; calli marked with irregular black bars; scutellum impunctate. Wing membrane with large rounded fuscous spot at apex (Fig. 50).

Life history similar to that of *aphidiphagus*. Nymphs and adults prey on mites, aphids, and small caterpillars.



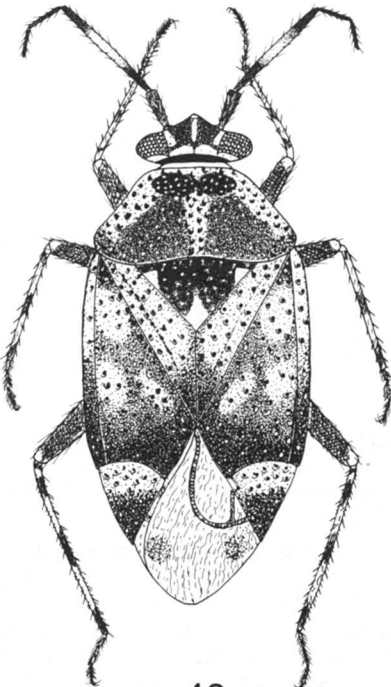
46

Figure 46. *Hyaliodes vitripennis*



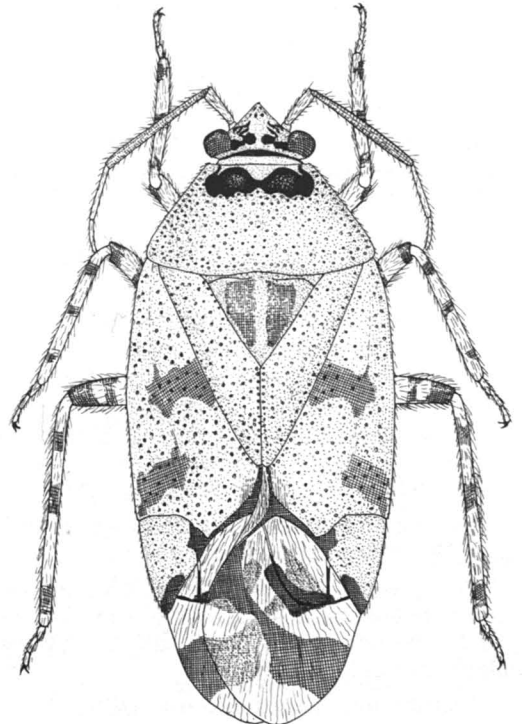
47

Figure 47. *Hyaliodes harti*



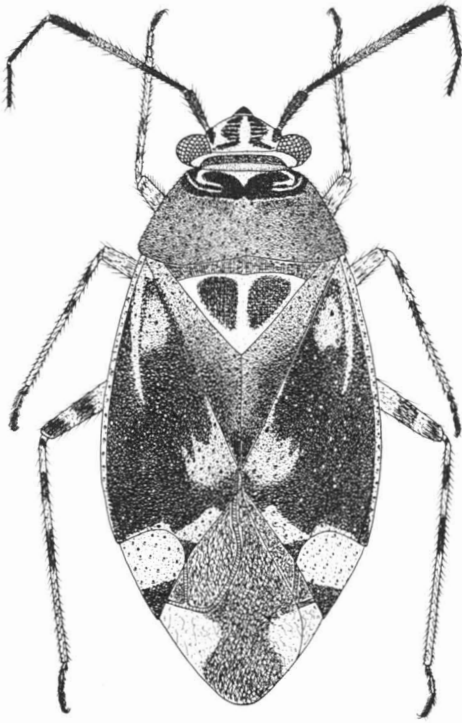
48

Figure 48. *Deraeocoris nebulosus*

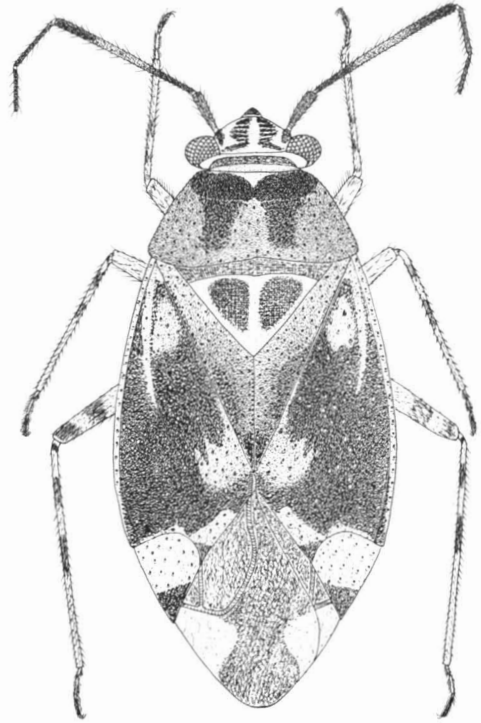


49

Figure 49. *Deraeocoris aphidiphagus*



50

Figure 50. *Deraeocoris fasciolus*

51

Figure 51. *Deraeocoris borealis*

This is the most abundant species of *Deraeocoris* on apple.

Distribution: northeastern and north central USA; Nova Scotia, Québec, Ontario, Prairie Provinces, British Columbia.

*Deraeocoris borealis* (Van Duzee)  
(Fig. 51)

*Campobrochis borealis* Van Duzee, 1920: 354.

*Deraeocoris borealis*: Knight, 1921: 120.

Length 5.7-7.0 mm; width 2.6-2.9 mm. Pronotum light brown with black punctures, calli black with black rays behind. Scutellum impunctate. Wing membrane with large rounded fuscous spot at apex (Fig. 51).

Life history similar to that of *aphidiphagus*. Nymphs and adults prey on aphids.

This species is similar to *fasciolus* in size and appearance. It is separated from *fasciolus* by the completely black calli and by the black rays behind them.

Distribution: northeastern USA: Nova Scotia, Québec, Ontario.

### Acknowledgments

The authors are most grateful to Mr. J.J. Jasmin, former director, Agriculture Research Station, Saint-Jean, for permission to work in the orchard at Agriculture Canada Research Farm, Frelighsburg, Québec. The cooperation of Drs. R.O. Paradis and G.L. Rousselle is also acknowledged.

The senior author also thanks the Ghana government for financial support to carry out this research. This research was also supported in part by an operating grant from Agriculture Canada.

### References

- CARVALHO, J.M.C., 1957. Catalogue of the Miridae of the world. Part I, Subfamilies Cyclapinae, Deraeocorinae, Bryocorinae. — Archos. Mus. nac. Rio de J., 44: 1-158.
- CARVALHO, J.M.C., 1958a. Catalogue of the Miridae of the world. Part II, Subfamily Phyllinae. — Archos. Mus. nac. Rio de J., 45: 1-216.
- CARVALHO, J.M.C., 1958b. Catalogue of the Miridae of the world. Part III, Subfamily Orthotylinae. — Archos. Mus. nac. Rio de J., 47: 1-161.

- CARVALHO, J. M. C., 1959. Catalogue of the Miridae of the world. Part IV. Subfamily Mirinae. — *Archos. Mus. nac. Rio de J.*, 48: 1-384.
- DOUGLAS, J. W. & J. SCOTT, 1875. British Hemiptera: additions and corrections. — *Entomologist's mon. Mag.*, 12: 100-102.
- FABRICIUS, J. C., 1803. *Systema Rhyngotorum Secundum Ordines, Genera, Species, etc.* — *Brunsvigae, Hafniae*, 314 p.
- GILLETTE, C. P. & C. F. BAKER, 1895. A preliminary list of the Hemiptera of Colorado. — *Bull. Colo. St. Univ. agric. exp. Stn.*, 31: 1-137.
- GILLIATT, F. C., 1935. Some predators of the European red mite, *Paratetranychus pilosus* C. & F., in Nova Scotia. — *Can. J. Res.*, D. 13: 19-38.
- HERBERT, H. J. & K. H. SANFORD, 1969. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. XIX. Apple rust mite, *Vasates schlechtendali*, a food source for predators. — *Can. Ent.*, 101: 62-67.
- KELTON, L. A., 1961. A new Nearctic genus of Miridae, with notes on *Diaphnidea* Uhler 1895 and *Brachynotocoris* Reuter 1880 (Hemiptera). — *Can. Ent.*, 93: 566-568.
- KELTON, L. A., 1965. *Diaphnidea* Uhler and *Diaphnocoris* Kelton in North America (Hemiptera: Miridae). — *Can. Ent.*, 97: 1025-1030.
- KELTON, L. A., 1980a. Description of a new species of *Parthenicus* Reuter, new records of Holarctic Orthotylini in Canada, and new synonym for *Diaphnocoris pellucida* (Heteroptera: Miridae). — *Can. Ent.*, 112: 341-344.
- KELTON, L. A., 1980b. The insects and arachnids of Canada. Part. 8. The plant bugs of the Prairie Provinces of Canada (Heteroptera: Miridae). — *Agric. Can. Publ. no. 1703*, 408 p.
- KNIGHT, H. H., 1916. Remarks on *Lygus invitus* Say, with descriptions of a new species and a variety of *Lygus* (Hemiptera: Miridae). — *Can. Ent.*, 48: 345-349.
- KNIGHT, H. H., 1920. New and little-known species of *Phytocoris* from the eastern United States (Heteroptera: Miridae). — *Bull. Brooklyn. ent. Soc.*, 15: 49-66.
- KNIGHT, H. H., 1921. Monograph of the North American species of *Deraeocoris* (Hemiptera, Miridae). — *Rep. Minn. St. Ent.*, p. 76-210.
- KNIGHT, H. H., 1923. The Miridae (or Capsidae) of Connecticut. — Pages 422-658 in W. Britton. *The Hemiptera, or sucking insects, of Connecticut*. *Bull. Conn. St. geol. nat. Hist. Surv.*, no. 34., 807 p.
- KNIGHT, H. H., 1930. A new key to *Paracalocoris* with descriptions of eight new species (Hemiptera, Miridae). — *Ann. ent. Soc. Am.*, 23: 810-827.
- KNIGHT, H. H., 1941. The plant bugs, or Miridae, of Illinois. — *Bull. Ill. St. nat. Hist. Surv.*, no. 22, 234 p.
- LINNAEUS, C. 1758. *Systema naturae*. — *Laurentii Salvii, Holmiae*, 824 p.
- LORD, F. T., 1949. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. III. Mites and their predators. — *Can. Ent.*, 81: 202-230.
- LORD, F. T., 1956. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. IX. Studies on means of altering predator populations. — *Can. Ent.*, 88: 129-137.
- LORD, F. T., 1962. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. XI. Effects of low dosages of DDT on predator populations. — *Can. Ent.*, 94: 204-216.
- LORD, F. T., 1971. Laboratory tests to compare the predatory value of six mirid species in each stage of development against the winter eggs of the European red mite, *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae). — *Can. Ent.*, 103: 1663-1669.
- MACLELLAN, C. R., 1962. Mortality of codling moth eggs and young larvae in an integrated control orchard. — *Can. Ent.*, 94: 655-666.
- MACLELLAN, C. R., 1963. Predator populations and predation on the codling moth in an integrated control orchard, 1961. — Pages 41-54 in E. J. LeRoux. *Population dynamics of agricultural and forest insect pests*. *Mem. ent. Soc. Canada*, 32: 1-103.
- MACLELLAN, C. R., 1977. Populations of some major pests and their natural enemies on young and semidwarf apple trees in Nova Scotia. — *Can. Ent.*, 109: 797-806.
- MACLELLAN, C. R. 1979. Pest damage and insect fauna of Nova Scotia apple orchards: 1953-1977. — *Can. Ent.*, 111: 985-1004.
- MACPHEE, A. W. & K. H. SANFORD, 1954. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. VII. Effects on some beneficial arthropods. — *Can. Ent.*, 86: 128-135.
- MACPHEE, A. W. & K. H. SANFORD, 1956. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. X. Supplement to VII. Effects on some beneficial arthropods. — *Can. Ent.*, 88: 631-634.
- MACPHEE, A. W. & K. H. SANFORD, 1961. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. XII. Second supplement to VII. Effects on beneficial arthropods. — *Can. Ent.*, 93: 671-673.
- MCATEE, W. L., 1916. Key to the Nearctic species of *Paracalocoris* (Heteroptera: Miridae). — *Ann. ent. Soc. Am.*, 9: 366-390.
- MCMULLEN, R. D. & C. JONG, 1970. The biology and influence of pesticides on *Campylomma verbasci* (Heteroptera: Miridae). — *Can. Ent.*, 102: 1390-1394.
- MEYER, L. R., 1843. *Verzeichniss der in der Schweiz einheimischen Rhynchoten* (Hemiptera Linn.). Heft 1, familie Capsini. — *Solothurn*, 115 p.



- PALISOT DE BEAUVOIS, A.M.F.J., 1805-1821. Insectes recueillis en Afrique et en Amérique, etc. — Paris, 267 p.
- PROVANCHER, L., 1872. Descriptions de plusieurs hémiptères nouveaux. — *Naturaliste can.*, 4: 73-79; 103-108.
- PROVANCHER, L., 1886-89. Petite faune entomologique du Canada. Les hémiptères: 3. — Québec, 354 p.
- REUTER, O.M., 1875. Capsidae ex America boreali in Museo Holmiensi asservatae, descriptiones. — *Öfvers. K. VetenskAkad. Förh.*, 32: 59-92.
- REUTER, O.M., 1878. Hemiptera Gymnocerata Europe. — *Acta Soc. Sci. fenn.*, 13: 1-188.
- REUTER, O.M., 1909. Bemerkungen über nearktische Capsiden nebst Beschreibung neuer Arten. — *Acta Soc. Sci. fenn.*, 36: 1-86.
- RILEY, C.V., 1870. Beneficial insects. The glassy winged soldier-bug *Campyloneura vitripennis* (Say). — Third A. Rep. on the noxious insects of the St. Missouri, p. 137.
- RIVARD, I. & R.O. PARADIS, 1978. Les ravageurs des cultures fruitières dans le sud-ouest du Québec en 1977. — *Ann. Ent. Soc. Québec.*, 23: 91-93.
- SANFORD, K.H., 1964. Eggs and oviposition sites of some predaceous mirids on apple trees (Miridae: Hemiptera). — *Can. Ent.*, 96: 1185-1189.
- SANFORD, K.H. & H.J. HERBERT, 1966. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. XV. Chemical controls for winter moth, *Operophtera brumata* (L.), and their effects on phytophagous mite and predator populations. — *Can. Ent.*, 98: 991-999.
- SAY, T., 1832. Descriptions of new species of heteropterous Hemiptera of North America. — *New Harmony*, 39 p.
- SMITH, J.B., 1909. A report on the insects of New Jersey. Order Hemiptera. — *Rep. New Jers. St. Mus.*, p. 131-170.
- UHLER, P.R., 1872. Notices of the Hemiptera of the western territories of the United States, chiefly from the surveys of Dr. F.V. Hayden. — Pages 392-423 in F.V. Hayden. *Prelim. Rep. U.S. Geol. Surv. Terr.* (1871), Vol. 5.
- UHLER, P.R., 1887. Observations on North American Capsidae, with descriptions of new species. — *Entomologica Am.*, 3: 67-72.
- VAN DUZEE, E.P., 1909. Observations on some Hemiptera taken in Florida in the spring of 1908. — *Bull. Buffalo Soc. nat. Sci.*, 9: 149-230.
- VAN DUZEE, E.P., 1912. Hemipterological gleanings. — *Bull. Buffalo Soc. nat. Sci.*, 10: 477-512.
- VAN DUZEE, E.P., 1920. New hemipterous insects of the genus *Aradus*, *Phytocoris* and *Campptobrochis*. — *Proc. Calif. Acad. Sci.*, 9: 331-356.

## A STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES IN A CULTIVATED ORGANIC SOIL BASED ON PALYNOLOGICAL SYNCHRONIZATION OF SUBSURFACE LAYERS<sup>1</sup>

M. P. LÉVESQUE, S. P. MATHUR

*Land Resource Institute, Research Branch, Agriculture Canada  
Ottawa, Ontario K1A 0C6*

and

P. J. H. RICHARD

*Département de géographie, Université de Montréal  
Montréal, Québec H3C 3J7*

### Résumé

On a comparé dix propriétés physiques et chimiques des diverses couches d'un site vierge et de deux sites cultivés depuis 5 et 15 ans, tous trois dans un même dépôt tourbeux. Ces comparaisons ont pu être effectuées grâce à des points synchrones établis précédemment dans les trois profils au moyen de l'analyse pollinique.

Les résultats ont indiqué (a) que les changements chimiques associés aux processus de minéralisation et d'humification, les causes premières de l'affaissement à long terme des sols organiques, ne furent perceptibles que dans la couche cultivée; et (b) qu'à cause de l'action des facteurs physiques, les seuls en opération dans les couches sous-jacentes, une importante tranche de 127 cm de la couche organique de deux mètres fut réduite à 91 cm durant les premiers cinq ans de culture, et finalement à 70 cm au cours des 10 années subséquentes.

### Abstract

Comparisons were made between ten physical and chemical properties of various layers of a virgin site and two fields, cultivated for 5 and 15 years, all on the same bog. These were based on synchronous points of reference established for the three profiles earlier through palynological analyses.

Results presented here indicated (a) that chemical changes related to mineralization and humification, major causes of long-term subsidence of organic soils, were restricted to the plough layer; and (b) that due to physical changes alone in the subplough zones a 127 cm thick tier of virgin organic soil was compressed into a 91 cm thick layer during the first 5 years of cultivation, followed by a further compacting into a 70 cm thick layer in the subsequent ten years.

### Introduction

Conservation of organic soils for agricultural utilization is hampered by subsidence — a continual lowering of surface elevation. It is generally accepted that in the first few years following drainage of a bog the resultant rapid subsidence is caused mainly by drying, settlement and other physical agencies (Rayment & Mathur, 1978;

Irwin, 1976; Astbury, 1958; Stephens & Spier, 1970). This initial sinking is followed by a slow but continuous loss in volume and mass primarily due to oxidation of the organic soil (*ibid.*). For example, Stephens & Spier (1970) showed that oxidation could be calculated to have caused 54.5% of the subsidence that occurred in the Florida Everglades in 47 years of cultivation when the differences in pore density values of various layers of virgin and cultivated organic soils were compared. If the calculation

<sup>1</sup> L. R. I. Contribution no. 146.

was based on a similar comparison of bulk density values, the long term contribution of oxidation was estimated to be 78.5% (Stephens & Spier, 1970).

In order to distinguish between exclusively physical or biochemical changes in the surface and subsurface layers of a cultivated organic soil, it is difficult to surmise how dense or decomposed were these layers in the virgin state, unless the various layers were nearly homologous in bulk density, botanical origin and degree of decomposition as in Florida (Stephens & Spier, 1970), or detailed records were kept from the beginning to provide reference points. However, Mathur *et al.* (1982) have recently shown that synchronous points of reference can be established between depth profiles of cultivated and virgin areas of a single bog by using a palynological approach, and thus allow valid measurements of physical and chemical changes in corresponding sub-plough layers under fields cultivated for different periods of time.

Therefore, the purpose of this study was to assess whether physical changes in sub-plough layers occur beyond the initial few years of cultivation of a bog; and whether the chemical changes expected to happen in the limed, fertilized and aerated plough layer extend to deeper layers in up to 15 years of cultivation.

### Materials and methods

The three areas sampled in summer 1980 were on LeHerrant Farm, near Ormstown, SW of Montréal, Québec. Site A represented an undrained field cleared of surface vegetation in 1979 but neither tilled nor limed in that or the following year. This site (Ormstown) was included in a previous characterization study and the soil was classified as a humic mesisol (Lévesque *et al.*, 1980). Sites B and C represented fields which have been under cultivation for 5 and 15 years respectively. The undisturbed cores removed by using a Coûteaux sampler (Mathur *et al.*, 1982) of 10 cm diameter were cut into 5 cm sections for the first metre, and 10 cm sections thereafter. Cubes of 8 cm<sup>3</sup> volume were taken from the middle of each section and the material dried at 105°C to determine moisture content and bulk density. The rest of the soil in each section was mixed and subsampled for various analyses. Rubbed and unrubbed fiber contents were determin-

ed according to Lévesque & Diné (1977), pH (in CaCl<sub>2</sub>) as described by McKeague (1976); and ash, C, N content and pyrophosphate index as outlined by Mathur & Sanderson (1978).

### Results and discussion

The bulk density curve for site A (Fig. 1) shows that the soil at 110 cm depth was markedly denser than in the adjoining layers. As reported earlier (Mathur *et al.*, 1982) this layer (110 cm) was synchronous with those at 80 and 55 cm depths at sites B and C respectively. Keeping in mind that the margin of error would be of the same magnitude as the 5 cm and 10 cm frequencies of sampling, the peaks at 75 cm and 55 cm in the bulk density curves for sites B and C respectively can be considered to be in conformity with the synchrony indicated by palynological analysis (Mathur *et al.*, 1982).

As expected, the 0 to 20 or 25 cm surficial layers on sites B and C were denser than the same at site A due to liming, mineralization and humification of the plough layer, and naturally more so at site C than at site B cultivated for a shorter period of time. Most of the subsurface layers at the cultivated sites were also denser than those in the virgin state. It is possible that the subsurface layers above the palynologically synchronous layers, indicated by arrows in the figures presented here, were denser at sites B and C only due to physical changes that caused compression. If so, estimations based on bulk densities of individual layers would show that the 55 to 30 cm zone immediately below the plough layer at site C contains the same amount of material as the 80 to 42 cm zone at site B, and the 110 to 59 cm zone at site A. And indeed on an average ( $\pm$  standard deviation) the 30 to 55 cm at site C, the 42 to 80 cm at site B, and the 59 to 110 cm at site A contained  $2.29 \pm 0.35$ ,  $1.92 \pm 0.32$  and  $2.36 \pm 0.59$  percent ash, thus corroborating their similarity.

The ash contents at 20 and 30 cm at sites B and C seem to demarcate the depth to which mineralization and humification have occurred. This is corroborated by the pH values (Fig. 2) which drop sharply near the same zones. The evidence from pyrophosphate index (PP<sub>i</sub>) curves (Fig. 3) is not clear because, if the above assumption on exclusively physical changes in the subplough layers is correct, the PP<sub>i</sub> peak at 55 cm at

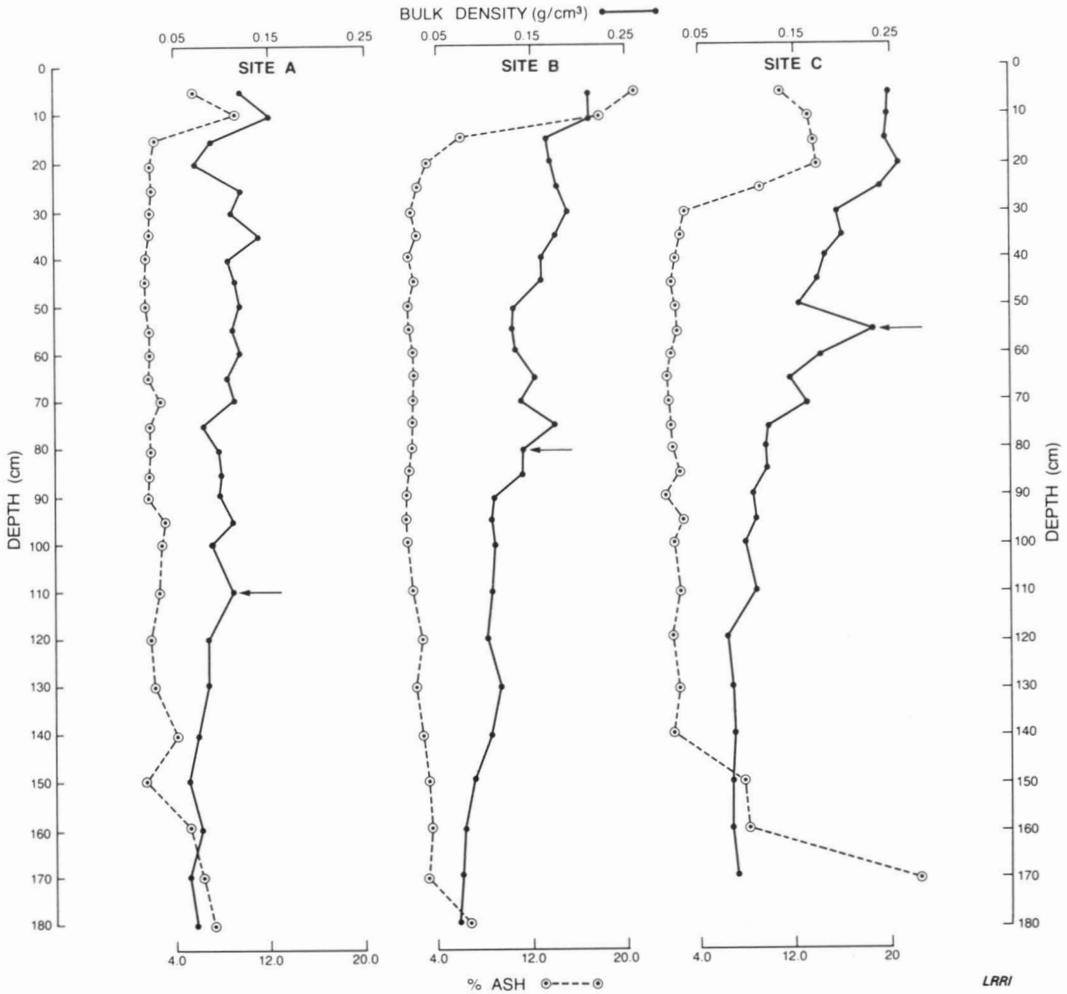


Figure 1. Bulk density and ash values of the three profiles.

site A (Fig. 3) should correspond to the PP<sub>i</sub> increases at or near 35 cm and 25 cm at sites B and C respectively. Similarly, the increase in rubbed fiber contents at 60 cm at site A (Fig. 3) would correspond to the peaks at or near 40 cm and 30 cm at sites B and C.

Although the curves for unrubbed fiber generally follow the rubbed fiber content curves, the latter is perhaps not reliable in the case of cultivated organic soils. It is conceivable that consolidation and a certain degree of irreversible drying there may make clumps of fibers not easily disruptable by rubbing. Similarly, nitrogen content and C/N ratio curves (Fig. 4) for cultivated soils (sites B and C) represent artefaction caused

by nitrogen fertilization, except perhaps in the deeper zones where the increase in N content in the 140 cm and deeper layers at sites B and C may have been due to a particular stage in vegetational succession. Such a stage should be present at site A below the 180 cm depth sampled.

The pH values (Fig. 2) prevalent in the subsurface layers preclude the presence of carbonate minerals. The about 50% carbon content of the 30 to 55 cm zone at site C, 40 to 80 cm zone at site B and 60 to 110 cm zone at site A (Fig. 4) also indicates that the same material is present in these layers although at different degrees of compaction. If this material had undergone a significant degree of mineralization and humification

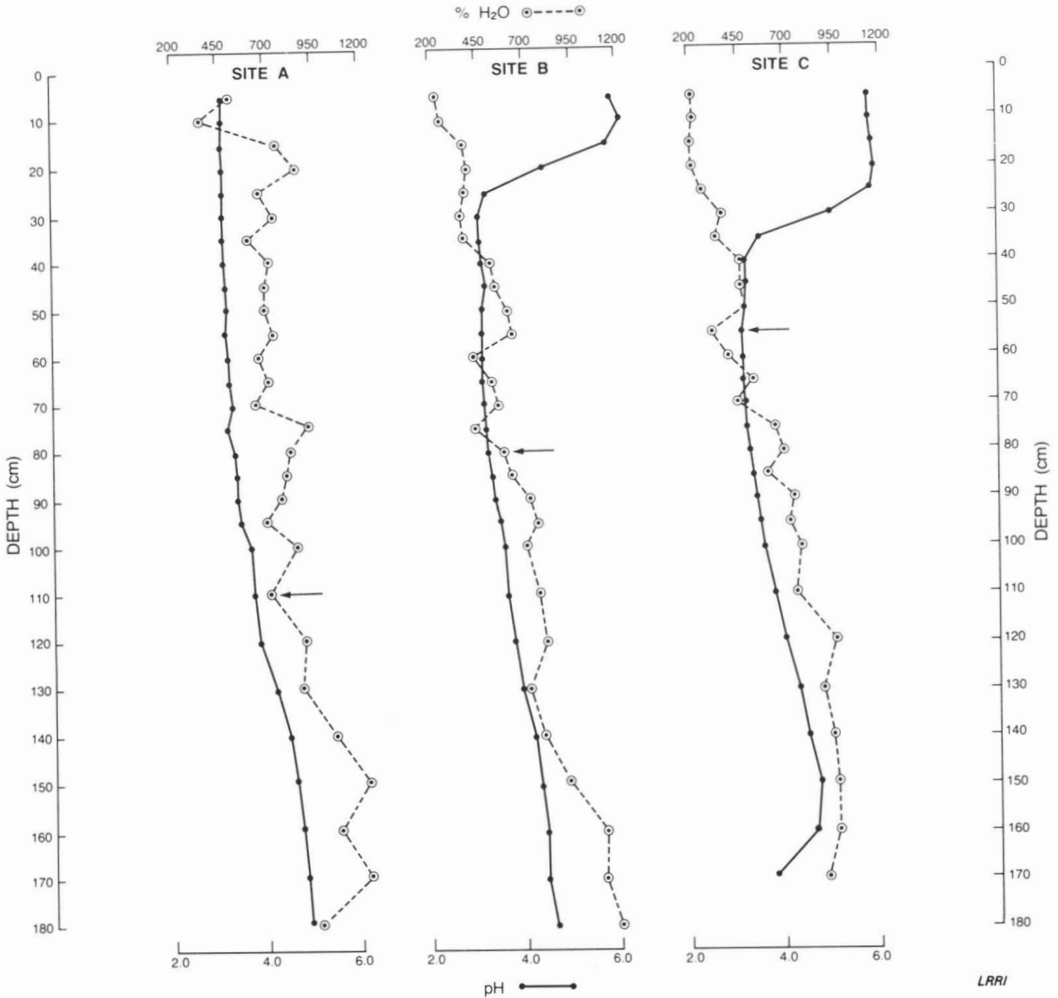


Figure 2. Percent moisture and pH values of the three profiles.

the ash content should have increased. The fact that it did not do so (Fig. 1) suggests that these subsurface layers at sites *B* and *C* have undergone only physical changes.

The reasons for lack of biological oxidation and resultant mineralization in the subplough layers are quite obvious. Microbial activity is seriously hampered by acidity as indicated by pH values (Fig. 2) of the subplough zones at sites *B* and *C*, and by lack of aeration as revealed by the water content of the same in field moisture states (Fig. 2).

Comparison of the bulk density curves for soils *B* and *C* revealed that the physical changes in the subplough zones continue beyond the 5 years of cultivation represented

by site *B*. Consequently, the average bulk density of the 30 to 55 cm zone at site *C* was 0.1874 g/cm<sup>3</sup> and 0.1554 g/cm<sup>3</sup> at site *B*, the difference being 17%. This may have been caused partly by the heavier burden on the subplough layers at site *C* compared to site *B*, due to denser nature of the surface layer, caused by greater humification and mineralization at site *C* (Figs. 2 and 3).

Taking another approach, bulk density data (measured up to 2 m depth at site *A*) were used to calculate that beneath the palynologically synchronous points, the 76 cm immediately below the 110 cm depth (110 to 186) at site *A* represented the same mass as in 53 cm below the 80 cm depth at

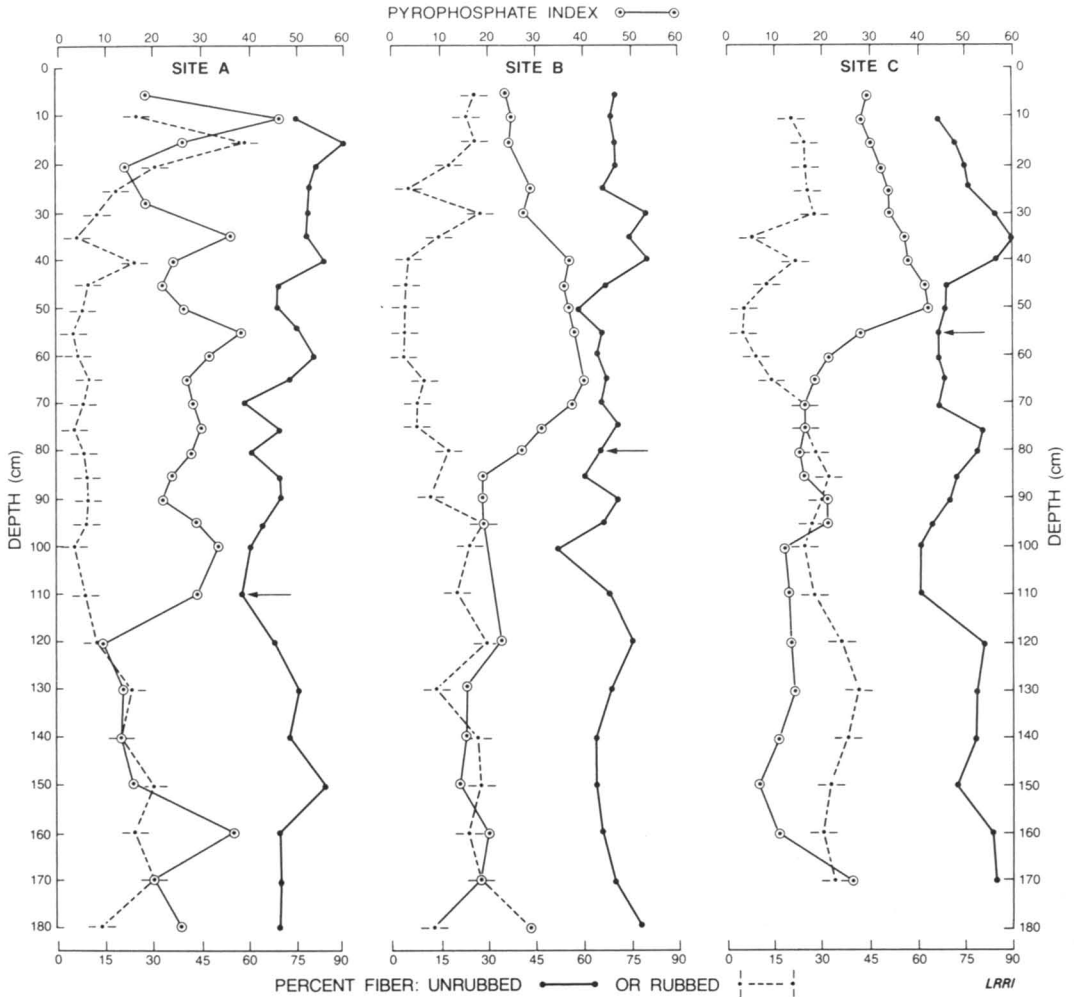


Figure 3. Pyrophosphate index and fiber contents of the three profiles.

site B, and 45 cm below the 55 cm depth at site C. Similarly, the 25 cm (30 to 55) above the 55 cm depth at site C represented 38 cm above the 80 cm depth at site B, and 51 cm above the 110 cm depth at site A. In other words, the 127 cm between the 59 and 186 depths at site A were compressed into the 91 cm between the 42 and 133 depths at site B, and further packed into the 70 cm between 30 and 100 cm depths at site C.

It is interesting to note that total loss in surface elevation at sites C and B was 57 (127 - 70) and 36 cm (127 - 91) respectively, when based on the assumption that the subplough layers were subjected to physical changes only. Corresponding values, based on palynological analyses alone, were 55 and

30 cm for sites C and B respectively (Mathur *et al.*, 1982).

In conclusion, the data indicated that chemical changes related to mineralization and humification in up to 15 years were restricted to the plough layer (0 to 25 or 30 cm). Changes in the subplough layers, on the other hand, could be seen to be almost exclusively due to physical agencies. These caused a mean annual loss of 7.1 cm in the surface elevation of a ca. 2 m deep peat during the first 5 years of cultivation. The corresponding rate for the next 10 years was 2.1 cm. This value is not different from the average annual subsidence reported by Millette (1976) as  $2.1 \pm 0.4$  cm/a of a comparable field at Sainte-Clothilde, Québec, cultivated for 38 years.

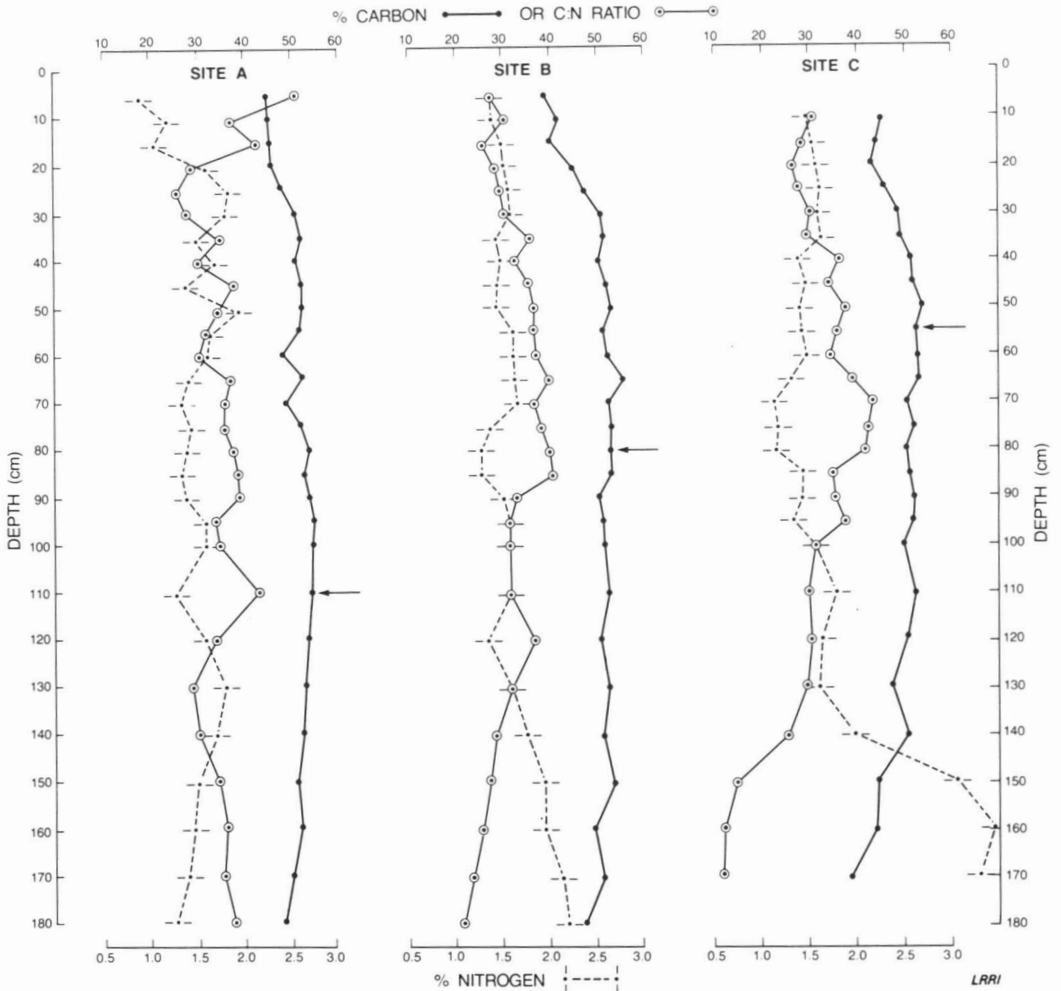


Figure 4. Percent carbon, percent nitrogen and C:N ratio of the three profiles.

### Acknowledgments

We gratefully acknowledge skillful technical assistance of Mr. H. Diné for this study.

### References

- ASTBURY, A.K., 1958. The black fens. — The Golden Head Press Ltd., Cambridge, U.K., 217 p.
- IRWIN, R.W., 1976. Soil subsidence of the Holland marsh. — Engg. Tech. Publication no. 126-34, School of Engg., Univ. of Guelph, Ontario, 14 p.
- LÉVESQUE, M.P. & H. DINÉ, 1977. Fiber content, particle-size distribution and some related properties of four peat materials in eastern Canada. — *Can. J. Soil Sci.*, 57: 187-195.
- LÉVESQUE, M., H. MORITA, M. SCHNITZER & S.P. MATHUR, 1980. The physical, chemical and morphological features of some Québec and Ontario peats. — A monograph, Agriculture Canada, Ottawa, 70 p.
- MATHUR, S.P. & R.B. SANDERSON, 1978. Relationships between copper contents, rates of soil respiration and phosphatase activities of some histosols in an area of southwestern Québec in the summer and the fall. — *Can. J. Soil Sci.*, 58: 125-134.
- MATHUR, S.P., M.P. LÉVESQUE & P.J.H. RICHARD, 1982. The establishment of synchrony between subsurface layers and estimation of overall subsidence of cultivated organic soils by a palynological method. — *Can. J. Soil Sci.*, 62 (in press).
- MCKEAGUE, J.A. (ed.), 1976. Manual on soil sampling and methods of analysis. — Land Re-

- source Research, Inst. Res. Br., Agriculture Canada, Ottawa, Ontario, 250 p.
- MILLETTE, J.A., 1976. Subsidence of an organic soil in southwestern Québec. — *Can. J. Soil Sci.*, 56: 499-500.
- RAYMENT, A.F. & S.P. MATHUR, 1978. Observations on the subsidence of drained peat soils under grassland culture in Newfoundland. — Pages 37-45 in *Proc. 17th Muskeg Res. Conf.*, Saskatoon, 1977. Ass. Comm. on Geotech. Res. Tech., Memo. no. 122. National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario.
- STEPHENS, J.C. & W.H. SPIER, 1970. Subsidence of organic soils in the U.S.A. — *Intn. Ass. Sci. Hydrol. Sump. (Tokyo)*, no. 89, p. 523-534.





## L'ÉTAGEMENT DES PLANTES VASCULAIRES EN MILIEU SAUMÂTRE, ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

B. GAUTHIER

*Conseil consultatif de l'environnement du Québec  
1020 rue Saint-Augustin, Québec G1R 4Z4*

### Résumé

L'auteur propose une classification de l'étagement des plantes vasculaires pour la partie saumâtre de l'estuaire du Saint-Laurent, caractérisé par une grande amplitude de la marée. De l'analyse des transects placés à l'île d'Orléans, Rivière Trois-Saumons, Saint-Roch-des-Aulnaies et La Pocatière, il ressort que la classification de l'étagement limnétique vaut également pour la portion oligohaline. En ce qui concerne la portion mésohaline de l'Estuaire, il convient plutôt d'adopter une classification des milieux franchement maritimes ou polyhalins et pourvus d'un marnage important. Néanmoins, la possibilité existe encore de réunir ces deux ensembles de classification.

### Abstract

The author suggests an appropriate classification for the zonation of vascular plants along the St. Lawrence Estuary characterized by large tides. Four transects are described at île d'Orléans, Rivière Trois-Saumons, Saint-Roch-des-Aulnaies and La Pocatière. The oligohaline section seems to be quite similar to the limnetic section; consequently, the limnetic classification could be the same for both. Also, the mesohaline section is closer to the marine habitat and a unique classification seems a good solution for them. Finally, there appears to be still a possibility to recommend only one classification for all hydrolittorals.

### Introduction

L'étagement des plantes vasculaires sur les rives d'un cours d'eau paraît universel. Le phénomène a été reconnu par tous les chercheurs qui se sont intéressés au milieu limnétiques, maritimes et saumâtres. Ceux-ci ont même élaboré diverses classifications pour décrire la zonation ou l'étagement des plantes à la périphérie des plans d'eau limnétiques (Naumann, 1932; Welch, 1935; Cléonique-Joseph, 1936; Dansereau, 1945; Hutchinson, 1967; Sculthorpe, 1967; Gauthier, 1979); il en fut de même pour le phytobenthos marin (Massart, 1907; Prat, 1933; Jacquet, 1949; Chapman, 1960; Redfield, 1972; Gauthier, 1978).

En ce qui concerne l'étagement des communautés établies en milieu saumâtre, habitat soumis à des salinités pouvant varier entre 0,3‰ et 17‰, quelques classifications ont été élaborées pour les rives où la marée est de faible amplitude (<1m); c'est notam-

ment le cas de travaux réalisés en Scandinavie (Gillner, 1960; Tyler, 1969). Il n'est, par contre, aucune classification qui nous soit connue pour décrire l'organisation altitudinale des plantes le long d'un estuaire lorsque le marnage est important.

Certes, plusieurs estuaires sont caractérisés à la fois par une marée importante et des eaux saumâtres, mais les quelques chercheurs qui ont décrit la végétation benthique ne classifient pas nécessairement leurs communautés végétales en fonction des étages (Gillham, 1957; Lacoursière & Grandtner, 1971, 1972); d'autres extensionnent sans trop de justification une classification élaborée pour les marais du bord de la mer (Gauthier, 1972; Lacoursière & Maire, 1976) et il en est qui adopte une classification différente à chaque publication (Hamel, 1942, 1955, 1963, 1966).

La partie saumâtre de l'estuaire du Saint-Laurent possède, sur plus de 75 km (fig. 1),

la double caractéristique d'être à la fois saumâtre et soumise à une marée semi-diurne excédant parfois les sept mètres lors des équinoxes. Il nous a donc paru intéressant de chercher à établir une classification qui serait valable pour toute son étendue et qui pourrait éventuellement être généralisée à d'autres rives estuariennes de même nature.

### Étage ment laurentin

Au-delà de la partie saumâtre (fig. 1), l'estuaire laurentin remonte en eau douce sur une centaine de kilomètres jusqu'au niveau de Grondines où le marnage décroît rapidement de trois mètres à moins d'un mètre. Débute alors la partie fluviale du Saint-Laurent, de nature plutôt lentique. En aval des eaux saumâtres, l'estuaire maritime se prolonge sur plus de deux cents kilomètres tout en étant encore soumis à un important jeu de la marée.

Nous avons discuté déjà (Gauthier, 1978, 1979) des classifications propres aux parties fluviale et maritime du Saint-Laurent. Suite logique, le présent travail fut orienté de manière à vérifier si l'une ou l'autre de ces classifications ou même les deux à la fois peuvent convenir à l'intérieur de la portion saumâtre laurentine; en voici leurs grandes lignes (fig. 2).

#### MILIEU MARITIME

Au niveau de l'estuaire maritime du Saint-Laurent et même de l'océan Atlantique, la portion de la rive comprise entre la côte atteinte par les pleines mers de vive-eau d'équinoxe et la présence inférieure ultime des macrophytes se dénomme *hydrolittoral* (fig. 2). Pour le marais salé de l'Isle-Verte, Gauthier (1978; en prép.) reconnaît trois étages, soit le supérieur, le moyen et l'inférieur. Ainsi, dans la partie basse de l'étage supérieur, on rencontre habituellement le groupement à *Spartina patens* côtoyant, sur l'étage moyen, le sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora*. La délimitation entre ces deux étages peut également être corrélée au niveau des pleines mers moyennes ou à un temps de submersion de 5,7%.

Nous subdivisons l'étage moyen en deux sous-étages: un haut, qui équivaut à la haute slikke de Jacquet (1949) et un bas, submergé à chaque marée haute, quelle que soit la période de l'année avec un temps de submersion excédant 32,5%. Le sous-groupe-

ment à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora* caractérise la partie haute de l'étage moyen. Sur la partie basse, on retrouve des peuplements quasi purs de *Spartina alterniflora*; aussi, *Zostera marina* survient occasionnellement dans les dépressions et les mares glacielles, tandis que les Fucacées abondent sur les blocs glaciels.

Un troisième étage, l'étage inférieur, débute au niveau des basses mers moyennes. Il renferme des îlots de *Zostera marina* sur les fonds sableux et sablo-limoneux de même que des Fucacées, dont des Laminaires, sur du matériel plus grossier.

#### MILIEU FLUVIAL

Dans la partie fluviale et lentique du Saint-Laurent (*sensu* Gauthier, 1977), l'étagement des phanérogames présente certaines grandes caractéristiques déjà énoncées dans Gauthier (1979). L'hydrolittoral se compose de deux étages, l'un hydrophytique et l'autre héliophytique (fig. 2). La limite entre les deux peut être corrélée aussi bien avec la limite inférieure des héliophytes qu'avec le niveau moyen de l'eau ou un temps de submersion de 33,6%. Chacun de ces étages possède deux sous-étages: supérieur et inférieur.

L'étage hydrophytique inférieur comprend à la fois les plantes submergées et celles à feuilles flottantes, tandis que la portion supérieure du même étage a une physionomie qui dépend principalement de l'abondance des plantes émergentes.

Les plantes émergentes et les héliophytes sont présentes au niveau de l'étage héliophytique, plus précisément au sous-étage inférieur. Cette portion de l'hydrolittoral caractérisée par un chevauchement maximal des héliophytes et des hydrophytes correspond à ce que plusieurs auteurs appellent *eulittoral* (Welch, 1952). Par ordre d'importance, la physionomie peut être celle d'une herbaçaie, d'une arbustaie et même d'une arborale. Il est également trouvé que la limite entre les deux sous-étages héliophytiques coïncide avec le niveau moyen supérieur du plan d'eau et un temps de submersion de 5,4%. Puis une bande habituellement arborescente et dénommée étage héliophytique supérieur survient jusqu'à une ligne de récurrence des eaux de deux ans en vingt ans (fig. 2).

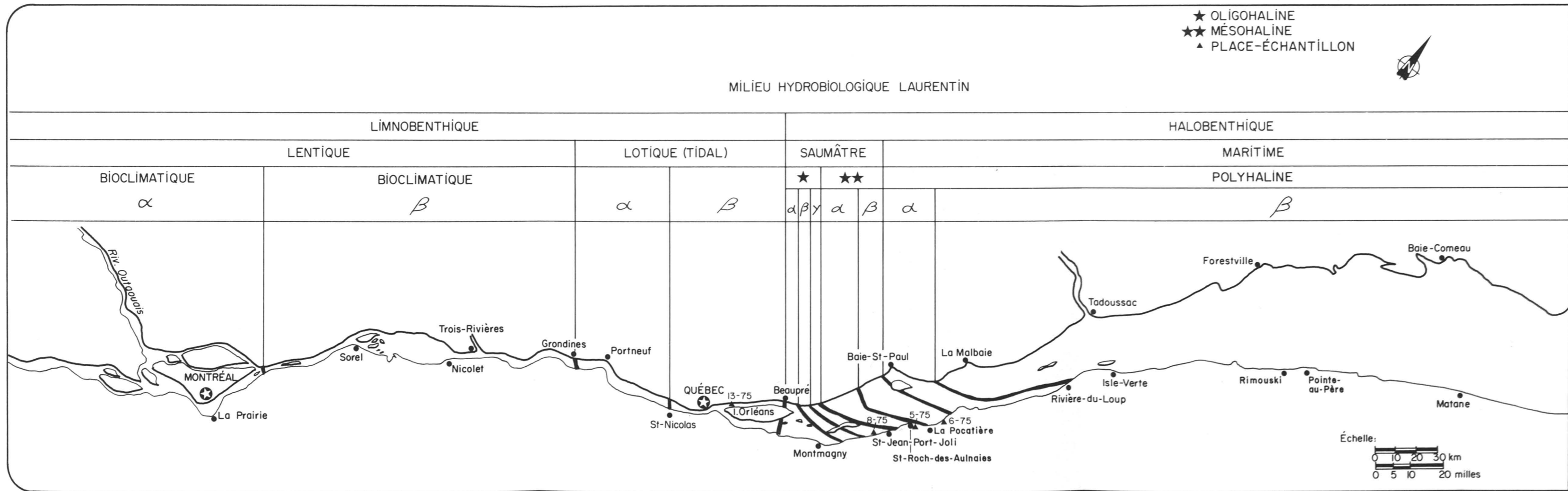


Figure 1. Régionalisation du milieu hydrobiologique laurentin et localisation des places-échantillons.

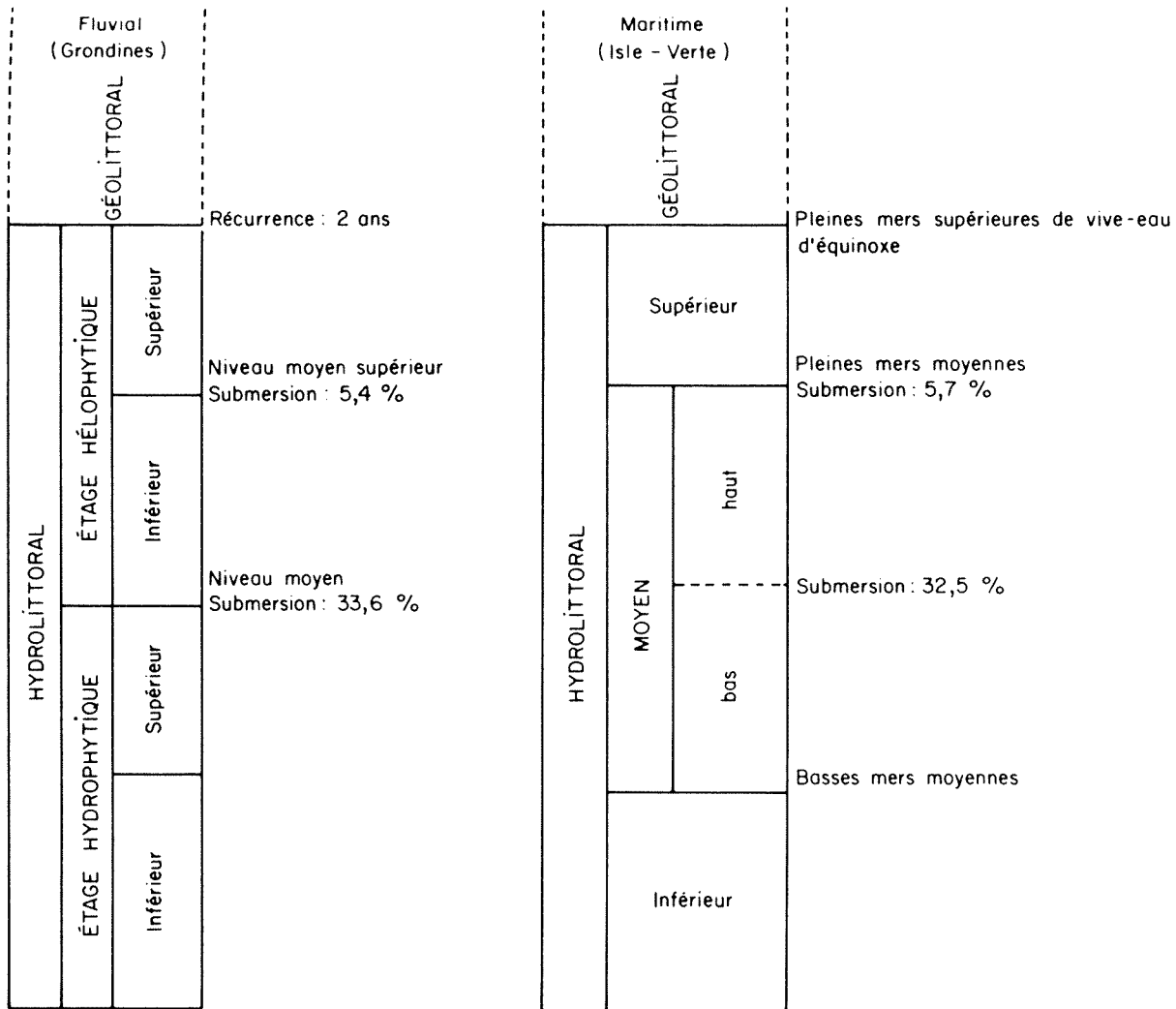


Figure 2. Étagement de l'hydrolittoral fluvial et maritime du Saint-Laurent et paramètres hydrographiques associés.

## Méthodes

La section saumâtre de l'estuaire du Saint-Laurent se subdivise longitudinalement en deux sous-sections (fig. 1), à savoir une sous-section oligohaline, caractérisée elle-même par trois sous-entités dénommées  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , et une deuxième dite mésohaline possédant deux sous-entités appelées  $\alpha$  et  $\beta$  (Gauthier, 1977). Trois transects ont été analysés le long de cette section : a) Rivière Trois-Saumons. b) Saint-Roch-des-Aulnaies. c) La Pocatière.

Nous avons également retenu un transect additionnel en provenance de la partie d'eau douce  $\beta$  — lotique (fig. 1), soit au sud-ouest du pont de l'île d'Orléans, de manière à disposer d'un meilleur point de comparaison avec l'étagement fluvial décrit dans Gauthier (1979).

L'emplacement exact de ces quatre transects fut fonction de la présence obligatoire d'un repère géodésique canadien ou *bench mark* et d'une détérioration faible de l'habitat naturel. À ces deux critères, il eut été fort intéressant d'en ajouter un autre, soit de travailler près d'une station marégraphique, mais aucune ne nous était connue pour cette section au moment de les établir en 1975. Pour relier les quatre transects à des niveaux de la marée, nous nous servons finalement des stations marégraphiques permanentes de Saint-Jean-Port-Joli et de Québec de même que de quelques ports secondaires dont les données n'ont été enregistrées que pour une courte durée (Canada, 1972).

À chaque site, la description du tapis végétal a porté principalement sur le tiers supérieur de l'hydrolittoral. En effet, ce niveau pose plusieurs difficultés de classification (Gauthier, 1978, 1979). Les espèces végétales y sont recensées par la méthode linéaire en notant leur présence ou leur absence lorsqu'elles touchent à la ligne ou encore lorsqu'elles apparaissent vis-à-vis d'un segment particulier. À l'occasion, il a paru essentiel d'établir certaines strates de manière à distinguer des états de croissance fort différents chez un même taxon; les strates retenues sont données au tableau I.

Puis, les espèces furent ordonnées sur un graphique en fonction de l'altitude. Il a déjà été montré que cette disposition facilite pour les milieux limnétiques l'interprétation visuelle des données et permet ainsi de mieux fixer les étages de végétation

TABLEAU I

Hauteur des différentes strates

Code	Hauteur (cm)
1	<7,5
2	7,6-15,0
3	15,1-31,0
4	31,1-62,5
5	62,6-125
6	>125

(Gauthier, 1979). Une vérification plus quantitative fut ensuite effectuée selon la méthode de la *coupure optimale* (Godron, 1972; Gauthier & Godron, 1976). Toutefois, lorsque les halophytes deviennent dominantes, cette dernière méthode est la seule utilisée.

L'établissement des étages de végétation en milieu limnétique s'appuie notamment sur le statut écologique des taxons soit *hélrophyte* — capable de tolérer une submersion n'excédant pas 35% du temps de la période de croissance —; soit *hydrophyte* — capable de tolérer une submersion pouvant excéder 35% du temps de la période de croissance. Ces deux statuts proviennent davantage de l'expérience des écologues et des botanistes (Sculthorpe, 1967; Gauthier, 1979) que d'essais contrôlés en laboratoire. Il pourra arriver que pour l'un ou l'autre des taxons, ce statut ne soit pas encore bien connu. Par ailleurs, ceux qui croissent normalement dans les sections maritime et saumâtre du Saint-Laurent mais ne se rencontrent pas dans la section limnétique seront considérés comme étant des *halophytes*.

## Résultats

### ÎLE D'ORLÉANS

La place-échantillon 13-75 (fig. 3) est la seule des milieux étudiés à n'être soumise qu'aux marées d'eau douce. Elle se situe à environ 50 m au sud-ouest du pont de l'île d'Orléans. Les espèces présentes sont quasi les mêmes qu'à Grondines puisque sur les quarante-huit recensées, seulement deux hydrophytes ne remontent pas aussi loin vers l'amont: *Scirpus smithii* et *Zizania aquatica* var. *brevis*. Toutefois, le dynamisme des courants, associé à une marée bi-journalière de l'ordre de 5 m et plus, influence fortement les plantes submergées et

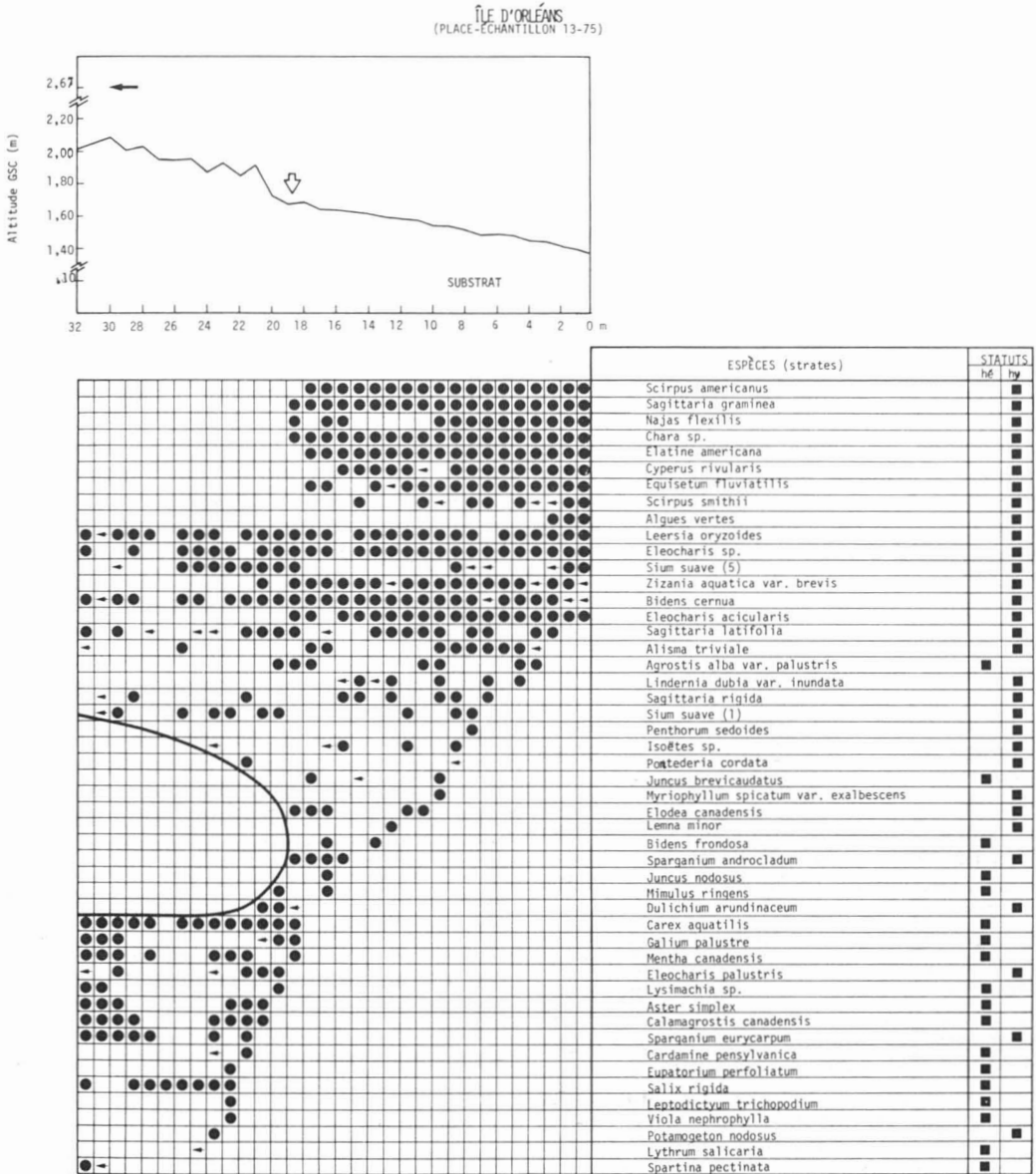


Figure 3. Description topographique et floristique de la place-échantillon 13-75. Notes: a. localisation: lat. 46°52'1"N., long. 70°07'1"O.; b. 6 août 1975; c. altitude officielle (GSC) établie d'après le point géodésique (B.M.) *Pavillon*; d. ajouter 1,79 m pour obtenir l'altitude marégraphique (chart datum); e. pleines mers moyennes (MHW) établies d'après le port secondaire de Montmorency et le port de référence de Québec; f. présence de l'espèce sur la ligne: X, espèce vis-à-vis de la ligne: ←; g. statuts écologiques: héliophyte (hé), hydrophyte (hy).

à feuilles flottantes encore présentes à Grondines mais presque absentes à l'île d'Orléans (Gauthier & Lavoie, 1973; Gauthier, 1977). Aussi, les nombreuses similitudes entre la localité de l'île d'Orléans et celle de Grondines (Gauthier, 1979) tiennent surtout aux plantes émergentes et aux héliophytes.

La pente est uniforme du premier au vingtième segment. À partir de là, le micro-relief se compose de bosses et de creux favorisant ainsi une remontée des hydrophytes (fig. 3). Par ailleurs, quelques héliophytes descendent très bas en altitude: *Agrostis alba* var. *palustris*, *Juncus brevicaudatus*, *Bidens frondosa* et *Juncus nodo-*

sus ; il s'agit en fait d'espèces dont le statut écologique s'avère discutable étant donné leur grande amplitude sur l'hydrolittoral.

Dans l'ensemble de l'organisation végétale échantillonnée, on constate au segment 19 une interruption dans la distribution tant des héliophytes que des hydrophytes ; ceci est pleinement vérifié par la méthode de la coupure optimale qui désigne cette limite comme étant la plus forte le long dudit transect. Celle-ci paraît équivalente à celle de Grondines (fig. 2) départageant alors l'étage hydrophytique de l'étage héliophytique. Puis, entre les segments 19 à 32, nous observons un partage de l'habitat à la fois par les héliophytes et les hydrophytes. Ce phénomène de chevauchement devrait se poursuivre jusqu'au niveau des pleines mers moyennes à une cote officielle de 2,67 m. Cette bande correspond assez bien à l'étage héliophytique inférieur de Gauthier (1979) (fig. 2).

La détermination de l'altitude de ce milieu modérément exposé est rendue possible grâce à la proximité du point géodésique *Pavillon* fixé sur un tablier du pont de l'île. Il est toutefois plus ardu de bien calculer le temps de submersion pour les différentes cotes d'altitude le long du transect. Nous y sommes parvenu avec un certain degré de confiance en nous référant aux marées prédites de 1971 — de mai à octobre — pour le port secondaire de Montmorency (localité située sur la rive nord presque vis-à-vis de la place-échantillon 13-75), données elles-mêmes établies en se basant sur le port de référence de Québec à quelques kilomètres en amont (Gauthier & Lavoie, 1973). Ainsi, les plantes au segment 19, à l'altitude marégraphique de 3,47 m, subissent une submersion de 25% du temps ; ceci est inférieur de 7% avec ce qui fut obtenu à Grondines (fig. 2). Quant à l'altitude officielle de 2,67 m ou marégraphique de 4,46 m, niveau indiqué comme étant celui des pleines mers moyennes, le temps de submersion y serait de 5,3% et s'apparenterait avec les résultats de Grondines.

#### RIVIÈRE TROIS SAUMONS

Plus de 70 km séparent la place-échantillon 8-75 (fig. 4), située à l'embouchure de la rivière Trois Saumons, de celle du pont de l'île d'Orléans. L'eau du Saint-Laurent y est saumâtre, de l'ordre de 2‰ à 4‰ de salinité. Quelques halophytes sont maintenant présentes telles *Carex paleacea*, *Carex recta* et *Solidago sempervirens*, alors que

plusieurs espèces limnétiques ont dû interrompre leur distribution à des seuils moindres de salinité (Gauthier, 1977). Malgré un appauvrissement floristique continu depuis le début de l'eau salée, les héliophytes et les hydrophytes émergentes sont encore en nombre suffisant et paraissent déterminer le dynamisme végétal général tant dans le secteur (Gauthier, 1972) qu'au niveau de la place-échantillon 8-75 où l'on dénombre 20 espèces limnétiques sur un total de 23.

La place-échantillon 8-75 contient deux ensembles topographiques ; ainsi, entre les segments 1 et 4, la pente demeure inférieure à 0,5% mais elle s'accroît à plus de 5% le long des segments 5 à 20 (fig. 4). Le premier ensemble est considéré comme abrité tandis que le second est davantage exposé au jeu des marées. La surface exposée et inclinée ne favorise guère une remontée des hydrophytes de même que l'installation de plusieurs héliophytes alors que ces dernières prospèrent à la place-échantillon 13-75 (fig. 3). Il résulte, de la conjugaison des facteurs d'exposition et de submersion, un arrêt marqué tant des héliophytes que des hydrophytes au segment 6 représentant bien cette limite entre les étages héliophytique et hydrophytique. Cette démarcation est également obtenue par la méthode de la coupure optimale. De plus, une autre limite est signalée à l'étage héliophytique par la méthode de la coupure optimale ; elle se situe entre le 17<sup>e</sup> et le 18<sup>e</sup> segment selon une altitude officielle de 2,30 m. Ce niveau coïncide avec le niveau des pleines mers moyennes établi d'après les enregistrements au port de Saint-Jean-Port-Joli à 7 km en aval. Il s'agit là du point de séparation des deux sous-étages héliophytiques, inférieur et supérieur.

Les temps de submersion sont obtenus en se référant au port de Saint-Jean-Port-Joli auxquels il convient d'effectuer un correctif de neuf centimètres (une seule lecture planimétrique, G. Audet, ministère de l'Environnement du Québec, *in litteris*) comme épaisseur ou hauteur de marée supplémentaire à l'embouchure de la rivière Trois Saumons. Ainsi, le niveau des pleines mers moyennes est de 5,3% pour la période allant de 1970 à 1975 inclusivement, pourcentage assez près de ceux de Grondines et l'île d'Orléans. Quant à la moyenne de submersion au lieu de séparation des deux étages, elle est de 20,2% comparativement à 25% pour l'île d'Orléans et à 33,6% pour Grondines.





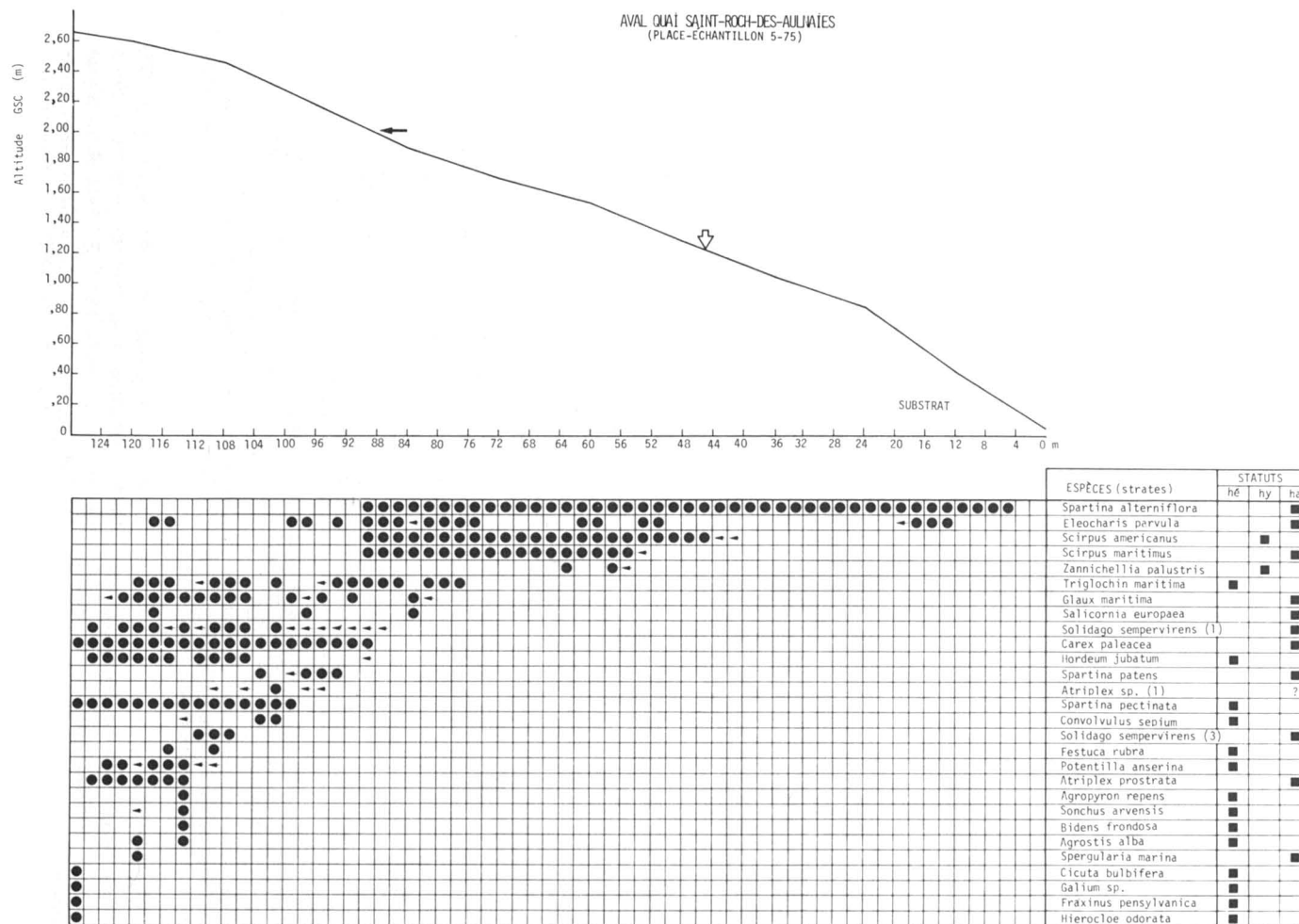


Figure 5. Description topographique et floristique de la place-échantillon 5-75. Notes: a. localisation: lat. 47°18'5"N., long. 70°10'0"O.; b. 18 juillet 1975; c. altitude officielle (GSC) établie d'après le point géodésique (B.M.) CLXX/IV; d. ajouter approximativement 2,79 m pour obtenir l'altitude marégraphique (chart datum); e. pleines mers moyennes (MHW) établies d'après le port secondaire de pointe aux Orignaux et le port de référence de Saint-Jean-Port-Joli; f. présence de l'espèce sur la ligne: X, espèce vis-à-vis de la ligne: ←; g. statuts écologiques: héliophyte (hé), hydrophyte (hy), halophyte (ha).

graphique de la manière suggérée par Gauthier (1979) pour l'étagement d'eau douce; nous aurons donc recours à la méthode de la coupure optimale. Ainsi, ce traitement informatisé indique un premier pic au 90<sup>e</sup> mètre à une altitude officielle de 2,00 m suivant les arrêts vers le haut de *Spartina alterniflora*, *Scirpus americanus* et *Scirpus maritimus*, et vers le bas de *Carex paleacea*. D'après les calculs marégraphiques basés sur pointe aux Orignaux et Saint-Jean-Port-Joli (Canada, 1972), ce plus fort pic équivaldrait au niveau des pleines mers moyennes. C'est donc dire que cette limite survenant au tiers supérieur de l'hydrolittoral nous rapproche davantage de la classification maritime que nous avons exposée antérieurement (Gauthier, 1978) (fig. 2) que de celle des milieux limnétiques retrouvée aux places-échantillons plus en amont. De part et d'autre de ce point limite, nous aurons dorénavant les étages de l'hydrolittoral dits *supérieur* et *moyen*. À noter qu'il existe sur le haut de l'hydrolittoral moyen un certain chevauchement ou interpénétration de plantes abondantes de l'hydrolittoral supérieur telles *Triglochin maritima*, *Glaux maritima* et *Salicornia europaea*.

Par ailleurs, le lieu de séparation entre la partie hydrophytique de la partie héliophytique, facilement identifié pour les places-échantillons analysées précédemment, se situerait ici à l'altitude marégraphique de 4,01 m, c'est-à-dire entre les mètres 44 et 46. Ce lieu n'est pas dépourvu d'intérêt alors qu'y débute en altitude *Scirpus americanus* auquel s'ajoute *Scirpus maritimus*, tandis que la densité observée de *Spartina alterniflora* devient moindre. Il correspond à la limite de la slikke (*sensu* Massart, 1907 in Gauthier, 1978) et à la division en deux sous-étages de l'hydrolittoral moyen (fig. 2).

Nous n'avons donné aucun temps de submersion pour les points limites discutés ci-dessus; l'éloignement grandissant des stations marégraphiques incite à la prudence. Dans ces conditions estuariennes des plus variables, la végétation s'avère le plus sûr moyen d'établir des limites *in situ*, d'effectuer des concordances d'un site à l'autre et, en définitive, de bien situer les étages reconnus.

#### LA POCATIÈRE

La place-échantillon 6-75 (fig. 6) est située en aval de l'embouchure de la rivière

Saint-Jean à quelque 13 km au nord-est du quai de Saint-Roch-des-Aulnaies. Par rapport à ce dernier endroit, la salinité du Saint-Laurent s'est accrue de 4 à 5‰, se situant aux environs de 12‰ à 15‰ et toujours dans les limites des eaux *saumâtres*. *Scirpus americanus* n'est plus et *Scirpus maritimus* survient désormais à une altitude supérieure laissant presque entièrement la place au *Spartina alterniflora* accompagné dorénavant de *Salicornia europaea*. Par comparaison avec le secteur maritime de l'Isle-Verte, plus en aval (fig. 1), il faut souligner a) l'absence de *Zostera marina* de même que de l'ensemble des Fucales; b) *Eleocharis parvula* qui croît dans le haut du marais salé à l'Isle-Verte tandis qu'il accompagne *Spartina alterniflora* dans le présent secteur; c) que les communautés de *Spartina alterniflora* et de *Spartina patens* ne se compénétrèrent pratiquement plus en aval de La Pocatière; d) que les héliophytes croissent dans ce marais saumâtre à partir de l'altitude officielle de 2,40 m mais se réfugient à la bordure extrême en milieu maritime et e) que les hydrophytes sont absents tant à La Pocatière qu'à l'Isle-Verte.

La principale coupure obtenue à l'aide de la méthode de la coupure optimale se situe entre les 110<sup>e</sup> et 112<sup>e</sup> mètre selon l'altitude officielle de 2,10 m ou marégraphique de 4,97 m. Cette limite survient à une altitude de 10 cm supérieure à ce qui fut mesuré précédemment à Saint-Roch-des-Aulnaies. Sans doute que la description de transects complémentaires, en y notant l'abondance des espèces et en utilisant des segments plus petits que deux mètres, nous aurait permis de déterminer si cette coupure est stable à la présente altitude ou si elle n'a pas plutôt tendance à se déplacer comme nous le pensons vers la limite inférieure de *Spartina patens* à quelque 10 cm plus bas. D'ailleurs, le niveau des pleines mers moyennes, obtenu par extrapolation, atteint la cote marégraphique de 1,97 m et coïncide bien avec le niveau de *Spartina patens*.

De plus, la limite décelée à Saint-Roch-des-Aulnaies selon une altitude marégraphique de 4,01 m trouve encore ici un certain intérêt à une altitude correspondante (altitude officielle de 1,14 m) et marque la subdivision entre les deux sous-étages de l'hydrolittoral moyen (fig. 2). Le phénomène le plus marquant le long de la place-échantillon 6-75 tient en une plus grande fréquence et abondance de *Salicornia europaea* au

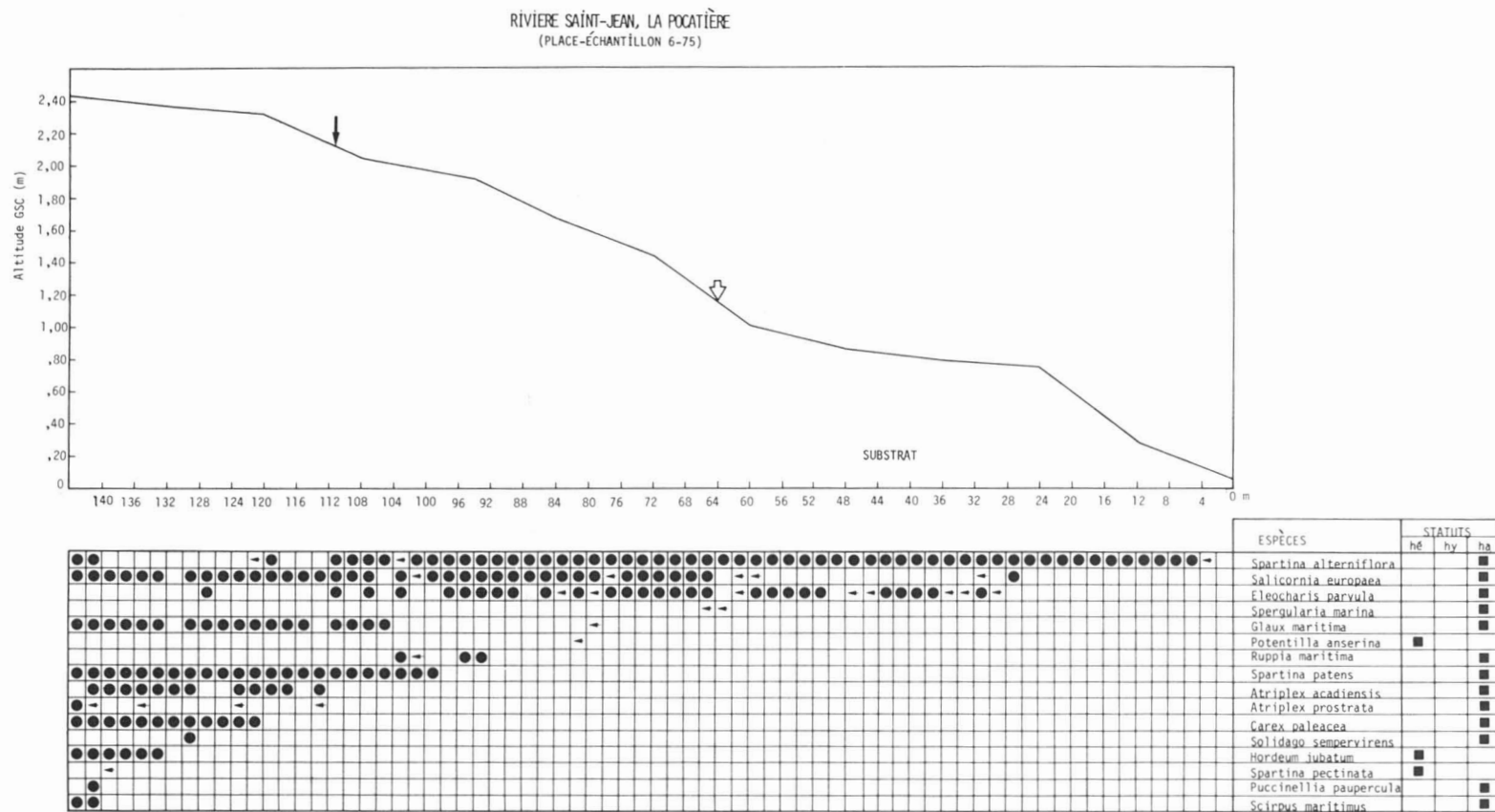


Figure 6. Description topographique et floristique de la place-échantillon 6-75. Notes : a. localisation : lat. 47°23'5"N., long. 70°03'5"N. ; b. 19 juillet 1975 ; c. altitude officielle (GSC) établie d'après le point géodésique (GSC) CLXXIV ; d. ajouter 2,87 m pour obtenir l'altitude marégraphique (chart datum) ; e. pleines mers moyennes (MHW) établies d'après le port secondaire de pointe aux Orignaux et le port de référence de Saint-Jean-Port-Joli ; f. présence de l'espèce sur la ligne : X, espèce vis-à-vis de la ligne : ← ; g. statuts écologiques : héliophyte (hé), hydrophyte (hy), halophyte (ha).

haut de l'hydrolittoral moyen, phénomène déjà décrit à l'Isle-Verte (Gauthier, 1978).

### Discussion

Dans le but de déterminer l'étagement des plantes vasculaires en milieu saumâtre laurentin, un estuaire influencé par un marnage important, quatre places-échantillons ou transects ont été analysés. Aucun de ces transects ne décrit toutefois tout le milieu intertidal, puisque nous nous en sommes tenus habituellement à la description verticale du tiers supérieur du marais. Il conviendrait sans doute de poursuivre cette réflexion sur l'étagement des plantes en ayant une description altitudinale et végétale complète afin de rendre ce type de travail encore plus utile aux chercheurs.

Chaque transect possède une longueur totale variable qui fut subdivisée en mailles ou segments de généralement deux mètres. À chacun de ces segments, la présence de la végétation fut notée. Il peut arriver que les transitions entre les groupements soient abruptes, passage survenant sur quelques dizaines de centimètres; dans ces cas, les segments devraient être réduits à un mètre et moins. De plus, on tirerait parfois avantage à recenser l'abondance des espèces, leur densité et leur biomasse, plutôt que leur seule présence ou absence. Ces deux facettes de notre méthodologie s'avèrent satisfaisantes car nous disposons d'autres informations plus indirectes prises avant ou après l'échantillonnage proprement dit.

L'interprétation graphique pour les milieux d'eau douce ou faiblement saumâtre repose en partie sur la connaissance du statut écologique général du taxon à savoir s'il est hydrophyte ou hélophyte. Toutefois, ce statut ne convient pas aisément à tous, principalement pour ceux qui surviennent dans l'une et l'autre partie de l'hydrolittoral. Dans le secteur saumâtre, les taxons suivants sont probablement des hydrophytes :

*Cyperus rivularis*  
*Equisetum palustre*  
*Juncus bufonius*  
*Sium suave* (plantule)

tandis que les suivants sont probablement des hélophytes :

*Agrostis alba* var. *palustris*  
*Bidens frondosa*  
*Deschampsia caespitosa* var. *intercotidialis*  
*Eupatorium perfoliatum*  
*Juncus nodosus*

*Juncus brevicaudatus*  
*Mimulus ringens* var. *colpophilus*  
*Polygonum hydropiper*  
*Triglochin maritima*

Le long des transects décrits, les taxons dont le statut paraît douteux sont peu nombreux à chaque occasion; cette imprécision ne joue pour ainsi dire pas dans le présent travail.

En 1979, le présent auteur déplorait la trop grande généralisation obtenue par les chercheurs décrivant les relations qui existent entre la structure végétale et les niveaux de leur plan d'eau. Pour corriger cette situation d'ensemble en ce qui a trait aux classifications du benthos limnétique, nous écrivions: «il importe que l'on s'applique à mesurer à la fois trois paramètres de première importance, soit: le gradient végétation, le gradient altitude et la submersion locale» (Gauthier, 1979). Étant donné la proximité d'un point géodésique canadien à chaque localité échantillonnée, nous croyons y avoir réussi pour les deux premiers paramètres indiqués. En ce qui concerne le temps de submersion, celui-ci doit être calculé par des enregistrements marégraphiques aux *ports de référence* du Saint-Laurent; or, on en compte à peine deux pour le secteur étudié: Québec et Saint-Jean-Port-Joli. En outre, les places-échantillons présentées en sont distantes de plus de 5 km alors que, pour un tel plan d'eau, il conviendrait d'avoir un enregistrement marégraphique à seulement quelques dizaines de mètres (Jensen, 1974). Il existe bien sûr des *ports secondaires*, mais les données proviennent de périodes fort courtes (Canada, 1972) et difficiles à utiliser :

Bonsecours (45°29' lat. N., 70°2' long. 0.):  
 26 jours.  
 Îles aux Grues (47°3' lat. N., 70°32' long. 0.): 125 jours.  
 Grosse Île (47°1' lat. N., 70°40' long. 0.):  
 21 jours.  
 Sault-au-Cochon (47°12' lat. N., 70°38' long. 0.): 15 jours.  
 Saint-Joachim (47°3' lat. N., 70°51' long. 0.): 15 jours.

En extrapolant le temps de submersion à partir des ports de référence, nous obtenons un pourcentage relativement constant, entre 5 et 6%, pour le niveau des pleines mers supérieures et la limite soit du premier étage, soit du sous-étage supérieur selon le cas (fig. 2). Par contre, le lieu de séparation des étages hydrophytique et hélophyti-

que est relié à un temps de submersion plus variable: 33,6% à Grondines, 25% à l'île d'Orléans et 20,2% à rivière Trois Saumons. Il peut arriver que ces différences soient réelles, mais la constance de la végétation à intégrer les multiples paramètres du milieu dont celui de la submersion nous permet d'en douter et d'attribuer ces écarts plutôt à des difficultés d'extrapolation d'un lieu à l'autre de l'Estuaire. D'ailleurs, pour un niveau équivalent en milieu maritime, soit entre les deux sous-étages de l'étage moyen (fig. 2), le temps de submersion à l'Isle-Verte est de 32,5% et se compare avec celui obtenu à Grondines.

Quoi qu'il en soit des remarques précédentes, le recensement de la végétation et son interprétation graphique et/ou quantitative sont suffisamment précis pour nous permettre d'affirmer que le système de classification établi en milieu limnétique, quasi lentique (Grondines), vaut également en milieu lotique limnétique (île d'Orléans) de même qu'en milieu saumâtre estuarien (rivière Trois Saumons). Toutefois, cette classification ne s'étend pas à toute la section saumâtre laurentine mais seulement à sa portion oligohaline. Ces résultats vont bien dans le sens du modèle biogéographique établi par Remane (1934 in Remane & Schlieper, 1971; fig. 7) et caractéristique de l'ensemble des estuaires comme devaient le reconnaître divers auteurs (Vernberg & Vernberg, 1972; Barnes & Green, 1972; Reid & Wood, 1976). Ainsi, la principale limite en milieu estuarien surviendrait non pas où commence l'eau salée, mais plutôt à l'arrêt de la plupart des espèces limnétiques que remplacent alors les halophytes. À la lumière de ce modèle et de la présente recherche, il semble normal qu'une classification de l'étagement appuyée sur des espèces d'eau douce, hydrophytes et héliophytes, reste valide aussi longtemps que celles-ci sont en nombre suffisant, c'est-à-dire jusqu'en milieu oligohalin.

La figure 8 est une vue simplifiée des divers rivages qui ont préoccupé les chercheurs et des résultats obtenus dans la poursuite d'un seul et même modèle d'étagement pour les milieux d'eaux douces et salées, avec marée ou sans marée significative (moins d'un mètre). Ainsi, à partir d'une classification élaborée pour un benthos lentique et limnétique (fig. 2), le présent travail parvient à établir une concordance avec ceux influencés par de grandes marées limnétiques et oligohalines. Par ailleurs, Du

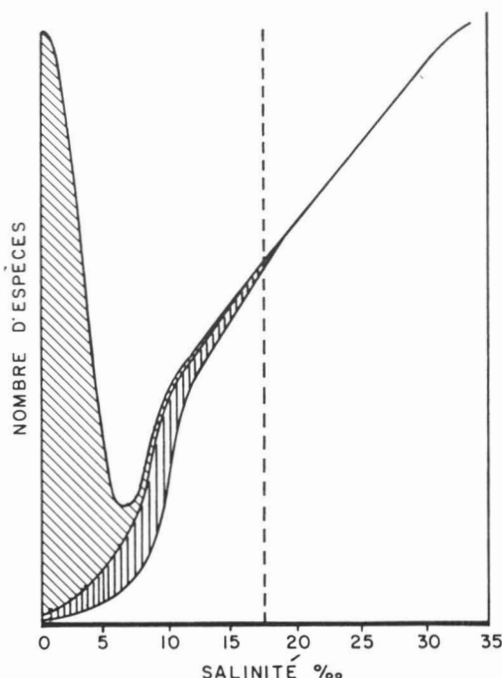


Figure 7. Nombre d'espèces le long d'un estuaire en relation avec la salinité (d'après Remane, 1934, in Remane & Schlieper, 1971). Notes: a. ce graphique est établi d'après de nombreuses données recueillies séparément; b. lignes obliques: espèces limnétiques; c. lignes verticales: espèces saumâtres; d. en blanc: espèces marines.

Rietz (1940) a déjà démontré une certaine similitude entre les étagements des milieux lentiques tant mésohalins, polyhalins que limnétiques. Ce même auteur, Philipp & Brown (1965) et Anderson *et al.* (1968) nous permettent de supposer qu'il y a aussi une concordance entre un milieu lentique oligohalin et les autres grands milieux lentiques. Finalement, il devrait être relativement facile de tirer des traits d'union entre tous ces divers milieux lentiques et lotiques sauf peut-être le milieu lotique mésohalin et polyhalin (fig. 8). Les nombreux auteurs qui ont étudié ce milieu côtier reconnaissent généralement trois étages tandis qu'ils trouvent quatre divisions pour les autres milieux (fig. 2). Cependant, l'étage supérieur et l'étage inférieur pourraient, à notre avis, s'apparenter aisément. Quant à l'hydro-littoral moyen, diverses études des marais salés (Jacquet, 1949; Verger, 1956, 1968) en retiennent deux divisions importantes. Nous avons d'ailleurs trouvé aux places-échantillons de Saint-Roch-des-Aulnaies et de La Pocatière qu'une telle subdivision revêtait un

certain intérêt écologique et pouvait même correspondre à la séparation de l'étage héliophytique de celui hydrophytique. Nous ne sommes donc pas loin de prétendre à l'élaboration d'une seule et même classification pour tous les hydrolittoraux.

Si on parvenait à reconnaître universellement quatre divisions (étages et/ou sous-étages) pour les milieux marins exposés et abrités, il serait probablement assez facile de revoir la classification limnétique et lentique afin de décider à nouveau si on retient deux étages avec chacun deux sous-étages, ou quatre étages ou même trois étages dont le médian serait subdivisé en deux sous-étages. Toutes ces possibilités existent et ont déjà été utilisées par les chercheurs qui ne parviennent pas à statuer de la même manière sur le poids de leurs limites. Voilà sans doute une des raisons qui ont suscité autant de termes différents pour une classification n'excédant pas en général quatre divisions principales. Quant à nous, nous désirons pour le moment attendre d'autres travaux axés sur ces problèmes avant de tenter de trouver une même classification et terminologie qui unifierait à la fois les milieux limnétique et polyhalin. Il s'agit en définitive d'un *statu quo* déjà acquis et explicité au début de ce travail (fig. 2).

### Conclusion

Le Saint-Laurent paraît assez exceptionnel par ses multiples facettes hydrobiologi-

ques qui caractérisent son parcours de plus de 1 200 km orienté sud-ouest — nord-est. Ainsi de la frontière ontarienne à Grondines, il est lentique; de là, la marée d'eau douce s'avère significative pour les organismes benthiques jusqu'à l'île d'Orléans où cette forte marée devient saumâtre, puis maritime jusqu'à l'océan Atlantique. Il importe toutefois d'ajouter qu'au niveau des îles de la Madeleine, la marée est inférieure à un mètre tout en étant encore très salée. Ces cinq grands secteurs biogéographiques, bien développés et réunis entre eux par des transitions douces, constituent un modèle intéressant à plusieurs points de vue.

Dans le présent travail, nous avons cherché à voir si l'étagement des plantes en milieu saumâtre est distinct de ceux des milieux amont et aval, c'est-à-dire limnétique et maritime. À la lumière des données présentées, il ressort que la classification de l'étagement limnétique vaut également pour la portion oligohaline. Toutefois, en ce qui concerne la portion mésohaline de l'estuaire, il convient plutôt d'adopter la classification décrite pour les milieux franchement maritimes ou polyhalins et pourvus d'un marnage important (Gauthier, 1978; fig. 2).

Entre la classification de l'étagement du phytobenthos limnétique et celle du phytobenthos maritime, il existe dorénavant des possibilités de raccordement tout comme il en est sans doute en milieu naturel. Nous nous en sommes tenu ici à ces gains appré-

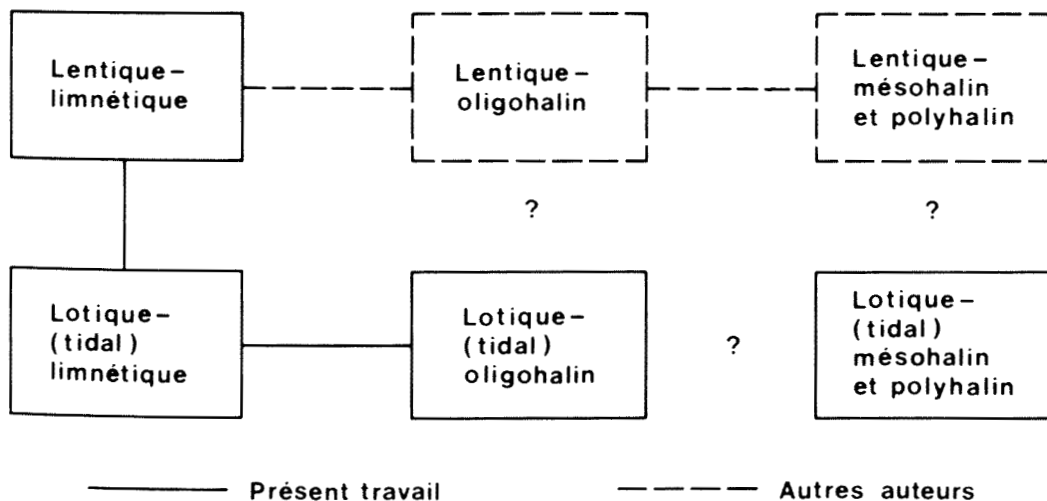


Figure 8. Essai de concordance entre les systèmes de classification des hydrolittoraux lenti-ques et lotiques.

ciables de l'une et l'autre classification sur le milieu saumâtre sans toutefois aller jusqu'à l'établissement d'un même schéma d'étagement pour tous les plans d'eau laurentins. Des travaux complémentaires le long du Saint-Laurent et dans d'autres estuaires sont requis si l'on veut prétendre convaincre pleinement les diverses catégories de biologistes qui œuvrent exclusivement dans l'un ou l'autre milieu. Il est à penser que cette méconnaissance de l'étagement en milieu estuarien, liaison entre la mer et l'eau douce, a contribué à rendre et à maintenir les deux ensembles de classifications quasi étrangères l'une de l'autre. Or, notre recherche en milieu estuarien révèle une unification possible des multiples classifications. Le *statu quo* suggéré au terme de cette réflexion mérite donc d'être contesté par des études rigoureuses à travers les multiples plans d'eau existants.

### Remerciements

Un cordial merci à M. Camille Rousseau qui a bien voulu relire ce texte. Nous sommes aussi reconnaissants envers M. Michel Godron et Mme A. M. Bacou, du Centre d'études phytosociologiques et écologiques Louis Emberger (France), qui ont effectué le traitement informatisé de nos places-échantillons en se référant à la méthode de la coupure optimale. M. Paul A. Bolduc, du Service des données sur le milieu marin du ministère des Pêches et Océans (Canada), nous a fourni les calculs marégraphiques pour le port de Saint-Jean-Port-Joli. Nous avons reçu un excellent support logistique à la Faculté d'agriculture et d'alimentation de l'Université Laval (Québec). Merci également à Mme Francine Savard, du ministère de l'Environnement du Québec, pour la réalisation des multiples figures.

### Références

- ANDERSON, R.R., R.G. BROWN & R.D. RAPPLEYE, 1968. Water quality and plant distribution along the upper Patuxent River, Maryland. — *Chesapeake Sci.*, 9: 145-156.
- BARNES, R.S.K. & J. GREEN, 1972. The estuarine environment. — *Applied Sci. Publis.*, London, 133 p.
- CANADA, 1972. Harmonic constants and associated data for Canadian tidal waters. — *Marine Science Branch, Environment Canada, Ottawa*, 65 p.
- CHAPMAN, V.J., 1960. Salt marshes and salt deserts of the world. — *Plant Sci. Monogr.*, Leonard Hill, London, 392 p.
- CLÉONIQUE-JOSEPH, F., 1936. Études du développement floristique en Laurentie. — *Cont. Inst. bot. Univ. Montréal*, 27: 1-46.
- DANSEREAU, P., 1945. Essai de corrélation sociologique entre les plantes supérieures et les poissons de la beine du lac Saint-Louis. — *Revue can. Biol.*, 4: 369-417.
- DU RIETZ, G.E., 1940. Das limnologisch-thalassologische Vegetations-Stufensystem. — *Int. Ass. Theor. Appl. Limnol. Proc.*, 9: 102-110.
- GAUTHIER, B., 1972. Recherches floristiques et écologiques sur l'hydrolittoral de l'archipel de Montmagny. — Thèse de maîtrise, Univ. Laval, Québec, 179 p.
- GAUTHIER, B., 1977. Recherches des limites biologiques du Saint-Laurent (phytogéographie du littoral). — Thèse de doctorat, Univ. Laval, Québec, 233 p.
- GAUTHIER, B., 1978. Détermination de la slikke et application au benthos laurentin, Isle-Verte, Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 32: 333-349.
- GAUTHIER, B., 1979. Présentation du phytobenthos limnétique. — *Mém. Soc. linn. Québec*, n° 1, 78 p.
- GAUTHIER, B. & M. GODRON, 1976. La recherche de limites ou de coupures optimales: application à un relevé phytosociologique. — *Naturaliste can.*, 103: 203-214.
- GAUTHIER, B. & V. LAVOIE, 1973. Étude préliminaire de la végétation du littoral, bras nord de l'île d'Orléans. — *CENTREAU, Univ. Laval, Québec*, 80 p.
- GILLHAM, M.E., 1957. Coastal vegetation of Mull and Iona in relation to salinity and soil reaction. — *J. Ecol.*, 45: 757-778.
- GILLNER, V., 1960. Vegetations- und Standortuntersuchungen in den Strandwiesen der Schwedischen Westküste. — *Acta phytogeogr. suec.*, 43: 1-198.
- GODRON, M., 1972. Échantillonnage linéaire et cartographie. — *Investigacion pesquera*, 36: 171-174.
- HAMEL, A., 1942. Végétation de Saint-Roch-des-Aulnaies. — *Revue Oka*, 16: 59-61.
- HAMEL, A., 1955. Esquisse écologique des comtés de l'Islet et de Kamouraska. — *Can. J. Bot.*, 33: 236-241.
- HAMEL, A., 1963. La récupération et la mise en valeur des alluvions maritimes du Saint-Laurent. — *Agriculture (Montréal)*, 20: 77-83.
- HAMEL, A., 1966. Écologie végétale (littoral) — Pages 23-24 in *Rapport de recherches 1956-1960. Min. Agriculture Canada, Station de Recherches, La Pocatière*.
- HUTCHINSON, G.E., 1967. A treatise on limnology, vol. 2. Introduction to lake biology and limnoplanton. — *John Wiley & Sons, New York*, 1115 p.
- JACQUET, J., 1949. Recherches écologiques sur le littoral de la Manche. Les prés-salés et la spartine de townsend, les estuaires, la tanguet. — *Encycl. biogéogr.*, t. 5, Paul Lechevalier, Paris, 374 p.



- JENSEN, A., 1974. A method of measuring salt marsh inundation. — *Oikos*, 25 : 252-254.
- LACOURSIÈRE, E. & M. GRANDTNER, 1971. Contribution à l'étude écologique de la végétation de l'île d'Orléans. — *Naturaliste can.*, 98 : 443-459.
- LACOURSIÈRE, E. & M. GRANDTNER, 1972. Les groupements végétaux ripariens entre Sainte-Famille et la pointe d'Argentenaye, île d'Orléans, Québec. — *Naturaliste can.*, 99 : 469-507.
- LACOURSIÈRE, E. & A. MAIRE, 1976. Étude écologique et cartographie de la végétation du littoral de la baie de Rupert. — Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 76 p.
- MASSART, J., 1907. Essai de géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de Belgique. — *Recl. Inst. bot. 'Léo Errera'*, t. 7., p. 157-584.
- NAUMANN, E., 1932. Grundzüge der regionalen Limnologie. — E. Schweizer-bartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 176 p.
- PHILIPP, C.C. & R.G. BROWN, 1965. Ecological studies of transition-zone vascular plants in South River, Maryland. — *Chesapeake Sci.*, 6 : 73-81.
- PRAT, H., 1933. Les zones de végétation et les faciès des rivages de l'estuaire du Saint-Laurent, au voisinage de Trois-Pistoles. — *Naturaliste can.*, 42 : 201-237.
- REDFIELD, A.C., 1972. Development of a New England salt marsh. — *Ecol. Monogr.*, 42 : 201-237.
- REID, G.K. & R.D. WOOD, 1976. Ecology of inland waters and estuaries. 2<sup>nd</sup> ed. — D. Van Nostrand Co., Toronto, 485 p.
- REMANE, A. & C. SCHLIEPER, 1971. Biology of brackish waters. — Wiley Interscience Division, John Wiley & Sons, Toronto, 372 p.
- SCULTHORPE, C.D., 1967. The biology of aquatic vascular plants. — Arnold, London, 610 p.
- TYLER, G., 1969. Regional aspects of Baltic shore-meadow vegetation. — *Vegetatio*, 19 : 60-86.
- VERGER, F., 1956. Quelques remarques sur la formation et le relief des schorres. — *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, 259-260 : 146-156.
- VERGER, F., 1968. Marais et wadden du littoral français, étude géomorphologique. — Biscaye Frères, Bordeaux, 541 p.
- VERNBERG, W.B. & F.J. VERNBERG, 1972. Environmental physiology of marine animals. — Springer-Verlag, Berlin, 346 p.
- WELCH, P.S., 1935. Limnology. — McGraw Hill Book Co., New York, 471 p.
- WELCH, P.S., 1952. Limnology. 2<sup>nd</sup> ed. — McGraw Hill, Toronto, 538 p.



## LES UNITÉS SYMPHYTOSOCIOLOGIQUES DES SABLES CÔTIERS DES ÎLES DE LA MADELEINE, QUÉBEC

J.-M. GÉHU

Faculté de pharmacie, Université de Lille II, Lille, France

et

M. M. GRANDTNER

Laboratoire d'écologie forestière, Faculté de foresterie et géodésie  
Université Laval, Québec G1K 7P4

### Résumé

Ce travail analyse le paysage végétal des sables côtiers des îles de la Madeleine par la méthode symphytosociologique. Vingt relevés ont servi à la définition d'une nouvelle géosigmassociation (*Ammophileto breviligulatae geosigmatum*) et de deux nouvelles sous-géosigmassociations (*ammophiletoso breviligulatae geosigmatosum* et *empetro nigri-arctostaphyletoso uvae-ursi geosigmatosum*). Une nouvelle association (*Arenarietum peploidis robustae*) et quatre sous-associations, deux dans cette dernière association (*arenarietosum peploidis robustae*, *cakiletosum edentulae*) et deux dans *Ammophiletum breviligulatae* (*arenarietosum peploidis robustae*, *spartinetosum pectinatae*) ont été également définies.

### Abstract

This paper analyses the vegetation cover of the coastal dunes of Magdalen Islands with the symphytosociological method. Twenty symphytosociological relevés are used to define a new geosigmassociation (*Ammophileto breviligulatae geosigmatum*) and two subgeosigmassociations (*ammophiletoso breviligulatae geosigmatosum* and *empetro nigri-arctostaphyletoso uvae-ursi geosigmatosum*). In addition, one association (*Arenarietum peploidis robustae*) with two sub-associations (*arenarietosum peploidis robustae*, *cakiletosum edentulae*) and two sub-associations of the *Ammophiletum breviligulatae* (*arenarietosum peploidis robustae*, *spartinetosum pectinatae*) are also defined for the first time.

### Introduction

Les premiers essais d'application de la méthode symphytosociologique à l'étude des paysages végétaux au Québec datent de 1976. Ils reviennent à Géhu et à Géhu et Tüxen (cités par Grandtner & Vaucamps, 1977). Ces auteurs établissent quatre relevés symphytosociologiques dans les dunes et les marais salés de Penouille en Gaspésie et du cap de l'Est aux îles de la Madeleine tout en rappelant qu'il ne s'agit que d'une approche très sommaire qui devrait être suivie par l'établissement d'autres relevés et l'élaboration des tableaux qui seuls permettraient de reconnaître et de hiérarchiser les unités symphytosociologiques. Dans cet esprit, Géhu (1978) reconstitue à partir des données

de la littérature et des documents des stations phytosociologiques de Todenmann et de Bailleul des transects qui lui permettent de proposer, pour les dunes nord-est américaines, une sigmaclasse distincte (*Ammophileto breviligulatae sigmetea*) et une sigmassociation (non nommée) pour celles des côtes des îles de la Madeleine. Ces données partielles devaient, de l'avis même de l'auteur, être toutes étayées dans l'avenir par des transects vrais, faits sur le terrain. C'est la principale raison qui nous a amenés à entreprendre la présente étude.

Les îles de la Madeleine, dont la situation géographique est donnée à la figure 1 et les caractéristiques écologiques générales dans Grandtner (1967, 1968), ont été choisies par-

ce qu'elles possèdent l'un des paysages duaires les plus vastes du Canada oriental. En effet, les sables côtiers y couvrent près de 5 600 ha, soit plus d'un quart (27,2%) de la superficie totale des îles. C'est aussi l'un des paysages les mieux connus au point de vue phytosociologique grâce surtout aux travaux de Grandtner (1966, 1967, 1968, 1974, 1976) et de Lamoureux & Grandtner (1977). Cependant, ces travaux se limitent à la définition des unités phytosociologiques classiques, inférieures à l'alliance, que Grandtner (1967) a réunies et cartographiées à l'échelle du 50 000<sup>e</sup>, dans une série cartographique complexe nommée *végétation maritime et sols salés*, en trois stades évolutifs primaires appelés: sables côtiers, lande à empetrum et pessière-sapinière à lichens, en déterminant leur superficie respective mais sans quantifier la proportion des unités phytosociologiques que contiennent ces derniers.

C'est donc aussi dans le but capital, en aménagement, de déterminer la superficie des éléments phytosociologiques composant les unités du paysage végétal, que nous avons réalisé, au cours de l'été 1979, une étude symphytosociologique des sables côtiers des îles de la Madeleine. Ce texte en contient les principaux résultats et leur discussion.

### Concepts et méthode

Avant de développer le travail effectué aux îles, il est utile de donner quelques mots d'historique concernant l'évolution de conception des unités-type de paysages.

Dans le prolongement de la notion de complexe de groupements végétaux due à Braun-Blanquet (1928) et sur la suggestion de Smithüsen (1968), Tüxen (1973) démontre que la méthodologie phytosociologique permet une description objective qui permet les comparaisons des paysages végétaux. Les ensembles chorologiques d'associations végétales, spatialement homogènes, sont des associations d'associations ou sigmassociations (Géhu, 1977, 1979). Les premiers essais de définition des unités chorologiques par cette méthode ont lieu sur le littoral atlantique français (Géhu, 1976, 1977, 1979)

et dans le Jura franco-suisse (Béguin & Hegg, 1975, 1976).

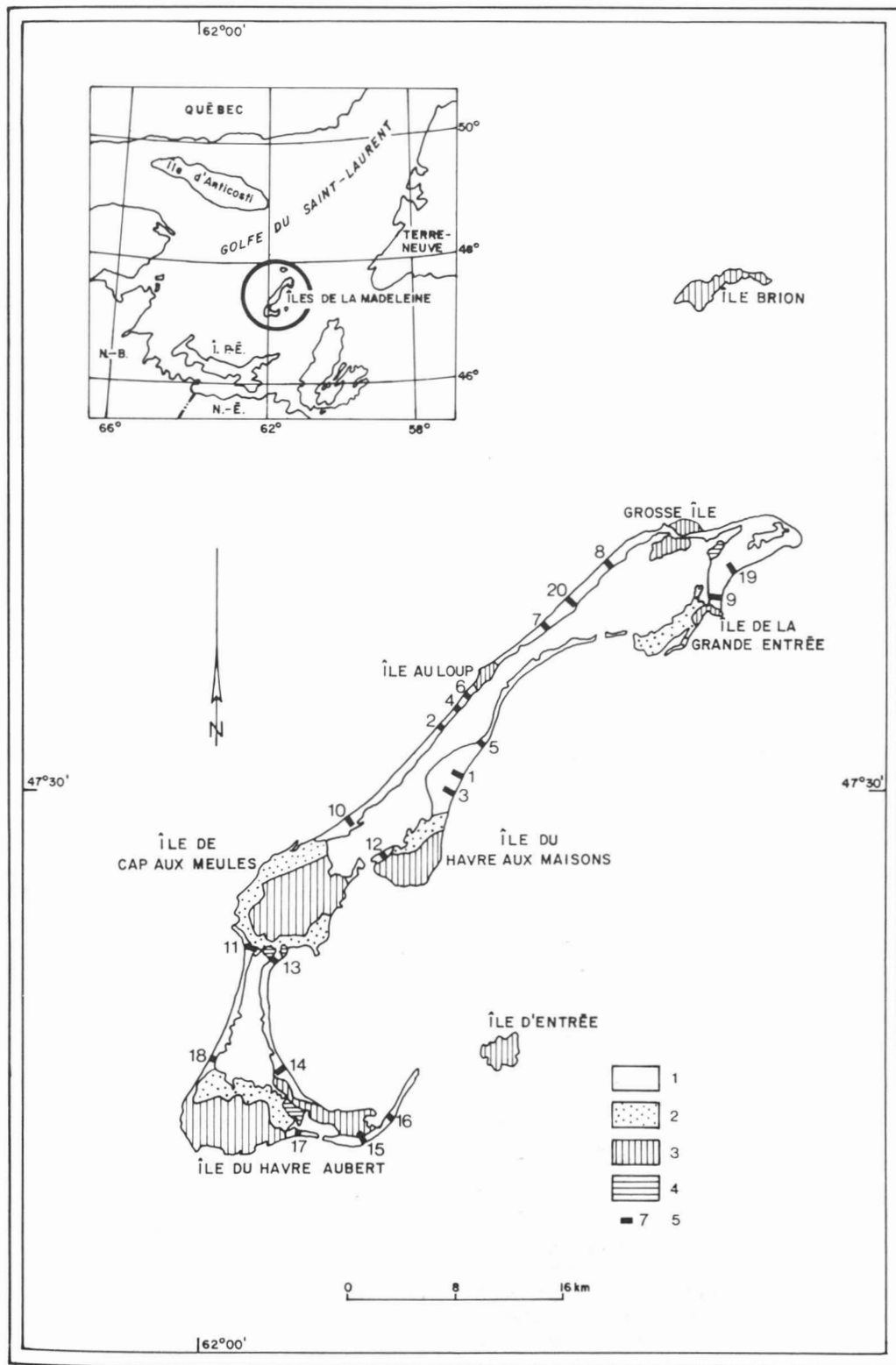
Pour sa part Rivas-Martinez (1976) utilise la synassociation comme unité de description du paysage. La synassociation est un ensemble spatial de groupements reliés dynamiquement au sein d'une même série.

De nombreux travaux de description de paysage par la méthode symphytosociologique sont publiés à l'occasion du Colloque international de Rinteln sur les «Sigmaten» (Tüxen, 1978a). De tous ces travaux se dégage progressivement la conception de deux types d'unités paysagères, les unes dynamiquement assez homogènes, les autres couvrant un territoire nettement plus vaste mais dynamiquement hétérogènes. Il s'agit des sigmassociations (ou sigmetum) pour les premières, et des géosigmassociations (ou geosigmatum) pour les secondes, au sens de Tüxen (1978, 1979).

Dans un travail sous presse, Géhu & Rivas-Martinez (sous presse) tentent de préciser le concept de ces deux types d'unités et de mieux les délimiter. La sigmassociation (sigmetum) devient synonyme de la synassociation. On peut la définir comme l'ensemble spatial quantifié des groupements végétaux qui ont le même groupement stable d'aboutissement et des groupements végétaux qui leurs sont dépendants. La géosigmassociation (geosigmatum) est l'ensemble spatial quantifié des sigmetums ou, s'ils ne sont pas établis, des groupements végétaux contigus au sein d'une même unité géomorphologique. Elle regroupe donc au sein d'une homogénéité géomorphologique déterminée les groupements végétaux appartenant à plusieurs séries dynamiques et occupe le territoire potentiel de plusieurs groupements climaciques (climax-complexe). En pratique, un geosigmatum appartient à l'une des principales unités géomorphologiques d'un territoire telles que terrasses alluviales, pentes de vallons, crêtes, plateaux, tourbières, dunes, prés salés, falaises...

Ces deux unités-type sont des unités abstraites définies par induction à l'aide de tableaux. Elles correspondent sur le terrain à des unités chorologiques concrètes, les individus de sigmetum et les individus de geosigmatum.

Figure 1. Végétation naturelle potentielle des îles de la Madeleine (d'après Grandtner, 1968) et localisation des places-échantillons étudiées. 1. végétation maritime, 2. pessière noire à *kalmia angustifolié*, 3. sapinière baumièrre à épinette blanche, 4. pessière noire à sphaignes, 5. places-échantillons de la présente étude.



La classification des unités chorologiques se fait par un système analogue à celui de la phytosociologie classique et la nomenclature (Tüxen, 1978, 1979) dérive directement de la nomenclature phytosociologique par addition de suffixe, par exemple: *Amphileto brevigulatae sigmetum* et *Amphileto brevigulatae geosigmetum*. Ces concepts sont à la base du travail symphytosociologique exposé ici.

La méthode symphytosociologique appliquée dans cette étude dérive donc de la phytosociologie classique. Comme cette dernière, elle procède à la reconnaissance visuelle de l'unité à échantillonner, suivie du choix de la place-échantillon jugée représentative de cette dernière et de l'établissement d'un relevé. Mais alors qu'en phytosociologie classique on commence le relevé par la liste des espèces végétales (taxons), dans le cas d'un relevé symphytosociologique on établit la liste des groupements végétaux (syntaxons). La forme et l'abondance de ces derniers sont ensuite évaluées grâce aux symboles proposés par Géhu (1974) pour la première et aux coefficients définis par Braun-Blanquet (1932) pour la seconde.

Finalement, les différents relevés symphytosociologiques sont réunis et comparés au moyen de la technique du tableau qui fait apparaître les ressemblances et les différences entre les relevés et permet de déterminer les syntaxons caractéristiques et différentiels des différentes unités chorologiques ainsi reconnues.

Quant à la proportion centésimale ou décimale des divers syntaxons composant une unité symphytosociologique, elle peut être déduite des coefficients d'abondance-dominance au moyen d'une échelle de conversion utilisant la valeur moyenne de chaque classe, ou déterminée directement sur le terrain grâce à l'échelle décimale suivante (tableau I) et qui pourrait, éventuellement, remplacer l'échelle d'abondance-dominance citée précédemment.

Cette échelle peut être complétée par l'échelle suivante des symboles de forme des individus inventoriés des syntaxons (tableau II).

À partir de la valeur moyenne de recouvrement (tableau I) de chaque syntaxon dans chaque relevé on peut calculer le pourcentage moyen de recouvrement de chaque syntaxon d'une unité symphytosociologique donnée et, après l'avoir corrigé pour ra-

TABLEAU I  
Échelle de recouvrement

Coefficient	Recouvrement	Valeur moyenne
-	0 — 1%	0,5%
1	1 — 10%	5%
2	10 — 20%	15%
3	20 — 30%	25%
4	30 — 40%	35%
5	40 — 50%	45%
6	50 — 60%	55%
7	60 — 70%	65%
8	70 — 80%	75%
9	80 — 90%	85%
10	90 — 100%	95%

mener le total à 100 (pourcentage moyen corrigé, tableau VI), on peut calculer, finalement, sa superficie.

Vingt relevés symphytosociologiques, effectués en août 1979, ont servi de base à cette analyse. Leur localisation est indiquée sur la figure 1. Chaque relevé correspond à une place-échantillon établie dans une superficie jugée, après un examen visuel, symphytosociologiquement homogène et représentative de l'unité chorologique étudiée. Les places-échantillons ont été de forme rectangulaire et de dimensions variant entre 0,8 et 500 ha, le plus souvent 5 ha, selon l'étendue de l'individu de l'unité échantillonnée. Chaque relevé comportait, en plus des renseignements généraux, la liste des syntaxons avec, pour chacun d'entre eux, les symboles de forme selon Géhu (1974), les coefficients d'abondance-dominance selon Braun-Blanquet (1932) et les coefficients de recouvrement selon l'échelle proposée ci-dessus (tableau I).

La nomenclature scientifique des plantes vasculaires suit Fernald (1950), à l'exception de la lettre minuscule adoptée pour les noms des taxons inférieurs au genre et du traitement de *Arenaria peploides* ssp. *robusta* pour lequel nous suivons Hultén (1970).

TABLEAU II  
Échelle de forme

Symboles	Forme
.	ponctuelle
/	linéaire
○	spatiale

**Résultats et discussion**

NOUVELLES UNITÉS PHYTOSOCIOLOGIQUES

Au cours de la présente étude, une nouvelle association et quatre nouvelles sous-associations ont été définies. Ce sont :

*Arénariaie péplue robuste*  
(*Arenarietum peploidis robustae* ass. nova)  
Tableau III, relevés 1 à 10  
Type nomenclatural : relevé 5, tableau III

Il s'agit d'une basse herbaçaie, le plus souvent continue, caractérisée par la présence constante et une forte abondance-dominance de la sabline péplue robuste (*Arenaria peploides* ssp. *robusta*), fréquemment accompagnée de l'ammophile bréviligulée (*Ammophila breviligulata*) dont le recouvrement ne dépasse cependant jamais 25%.

Le tableau III permet de reconnaître deux sous-associations : l'une à sabline péplue robuste ou typique (*arenarietosum peploidis robustae* s.-ass. nova ; type nomenclatural : relevé 5, tableau III et l'autre à cakilier édentulé (*cakiletosum edentulae* s.-ass. nova ; type nomenclatural : relevé 8, tableau III).

L'association forme des îlots circulaires de 1 à 10 m<sup>2</sup> de superficie, légèrement surelevés par rapport au *Cakiletum edentulae*. Elle est peu fréquente aux îles, excepté à l'extrémité nord-est de l'archipel, et son abondance-dominance symphytosociologique ne dépasse jamais +, c'est-à-dire 1% de recouvrement.

Elle est caractérisée par la sous-espèce *robusta* de *Arenaria peploides*, sous-espèce endémique des côtes nord-est américaines, du détroit de Belle-Isle au Maryland (Hultén, 1970).

*Ammophilaie bréviligulée*  
(*Ammophiletum breviligulatae* (Conard 1935) Grandtner 1978)  
Tableau IV, relevés 1 à 6

Deux nouvelles sous-associations sont reconnues : la première à sabline péplue (*arenarietosum peploidis robustae* s.-ass. nova ; type nomenclatural : relevé 2, tableau IV) et la seconde à spartine pectinée (*spartinetosum pectinatae* s.-ass. nova, type nomenclatural : relevé 4, tableau IV).

Elles forment, toutes deux, une haute herbaçaie discontinue ne dépassant qu'exceptionnellement 50% de recouvrement. Elles sont très peu fréquentes et ne couvrent jamais plus de 1% de la superficie.

Du point de vue symphytosociologique, la sous-association à spartine pectinée caractérise des systèmes dunaires jeunes, remaniés non seulement par le vent mais aussi par l'eau, dont elle permet d'identifier les voies de pénétration.

NOUVELLES UNITÉS SYMPHYTOSOCIOLOGIQUES

En milieu littoral où la dynamique de la végétation réprimée par les rigueurs du climat local ne s'exprime pas comme dans l'intérieur des terres, la végétation tant po-

TABLEAU III  
Composition floristique de l'arénariaie péplue robuste

Association	Arenarietum peploidis robustae										
	arenarietosum peploidis robustae					cakiletosum edentulae					
Numéro du relevé	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Numéro de la place-échantillon	23	37	38	36	35	21	24	33	25	40	
Superficie de la place-échantillon (m <sup>2</sup> )	2	4	5	10	10	1	2	4	1	10	
Nombre de taxons	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	
Recouvrement des strates (%)											
herbacée haute, > 0,6 m	hh							2			
herbacée basse, < 0,6 m	hb	80	80	95	80	70	80	80	80	60	50
Composition floristique											
<i>Arenaria peploides</i> ssp. <i>robusta</i>	hb	5.5	5.4	5.5	4.4	4.4	5.5	5.5	5.5	4.3	3.3
<i>Cakile edentula</i>	hb	.	.	.	.	.	+1	+1	+1	1.2	+1
<i>Ammophila breviligulata</i>	hb/hh	.	.	2.2	2.3	1.2	.	+2	1.2	+1	1.2
<i>Elymus mollis</i>	hb	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+2

tentielle qu'actuelle est formée par une rapide succession zonale de groupements permanents spécialisés (formant autant de groupements stables d'aboutissement).

Dans ces milieux, c'est vrai pour les dunes comme pour les prés salés et parfois pour les falaises, les sigmetums linéaires sont très pauvres en associations, parfois même mono-associations (frange à cakillier...). Aussi leur définition n'apporte guère plus d'informations que celles des associations constitutives. Par contre ces stations, dont les caractéristiques géomorphologiques sont particulières, se prêtent bien à la définition d'unités chorologiques du type geosigmetum.

Nos relevés, effectués indépendamment des relations dynamiques entre les groupements mais au sein d'ensembles géomorphologiquement homogènes, à savoir les sables côtiers des îles de la Madeleine, correspondent donc à des geosigmetums selon les conceptions exposées ci-dessus.

Les vingt relevés réunis dans les tableaux V et VI nous ont permis de reconnaître une géosigmassociation (*Ammophiletum breviligulatae geosigmetum*) et deux sous-géosigmassociations (*ammophiletoso breviligulatae geosigmetosum* et *empetro nigriarctostaphyletoso uvae-ursi geosigmetosum*). Elles seront examinées dans cet ordre.

Géosigma *ammophilaie* bréviligulée  
(*Ammophiletum breviligulatae geosigmetum*)

Relevé type : n° 3, tableau V

Cette géosigmassociation est caractérisée par la présence constante de l'ammophilaie bréviligulée (*Ammophiletum breviligulatae*) et plus particulièrement de sa sous-association typique (*ammophiletosum breviligulatae*) qui y atteint les plus forts coefficients d'abondance-dominance et qui marque finalement, dans la majorité des cas, la physionomie de cette unité. Elle est accompagnée dans 19 cas sur 20 par la sous-association *juncetosum baltici* bien qu'avec

TABLEAU IV

Composition floristique de l'ammophilaie bréviligulée à sabline péplue robuste et à spartine pectinée

Association	<i>Ammophiletum breviligulatae</i>					
	<i>arenarietosum peploidis robustae</i>			<i>spartinetosum pectinatae</i>		
Numéro du relevé	1	2	3	4	5	6
Numéro de la place-échantillon	91	91	91	91	91	91
Superficie de la place-échantillon (m <sup>2</sup> )	60	62	61	59	63	64
Nombre de taxons	25	25	25	2	2	1
Recouvrement des strates (%)	2	2	3	3	7	4
herbacée haute, > 0,6 m	hh	30	35	35	40	45
herbacée basse, < 0,6 m	hb	30	15	5	<1	5
fongique	f	.	.	<1	.	.
Composition floristique						
<i>Ammophila breviligulata</i> hh/hb	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3
<i>Arenaria peploides</i> ssp. <i>robusta</i> hb	3.2	2.2	1.2	.	.	.
<i>Spartina pectinata</i> hh	.	.	.	1.2	2.2	3.3
<i>Peziza</i> sp. f	.	.	+1	.	.	.
<i>Cakile edentula</i> hb	.	.	.	(+1)	(+1)	.
<i>Poa</i> sp. hb	.	.	.	.	1.1	.
<i>Arenaria lateriflora</i> hb	.	.	.	.	+1	.
<i>Achillea nigrescens</i> hb	.	.	.	.	+1	.
<i>Aster novi-belgii</i> hb	.	.	.	.	(+2)	.
<i>Potentilla palustris</i> hb	.	.	.	.	.	1.2
<i>Juncus balticus</i> v. <i>littoralis</i> hb	.	.	.	.	.	+2



TABLEAU V

Les unités symphytosociologiques du paysage dunaire des îles de la Madeleine [symboles de Géhu (1974) et coefficients de Braun-Blanquet (1932)]

Géosigmassociation	Ammophiletoso breviligulatae geosigmetum																				Présence et abondance-dominance moyenne <sup>2</sup>			Pourcentage moyen de recouvrement <sup>2</sup>			
	ammophiletoso breviligulatae geosigmetosum												Empetro nigri-arctostaphyletoso uvae-ursi geosigmetosum														
Sous-géosigmassociation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	A	B	C	A	B	C	
Numéro du relevé	16	10	6	12	11	15	13	17	8	18	2	4	3	5	1	9	7	14	19	20							
Numéro de la place-échantillon	0,8	7,5	4,5	3	5	4	2	1,2	5	5	10	5	8	300	5	100	20	5	500	8							
Superficie de la place-échantillon (ha)	5	6	6	7	7	7	7	8	9	13	11	10	11	12	13	13	16	16	18	19							
Nombre de syntaxons																											
Caractéristiques de la géosigmassociation																											
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>ammophiletosum breviligulatae</i> Grandtner 1971	05	05	03	03	03	/02	04	/03	04	03	04	/+	/01	/02	/1	03	02	/02	02	/01	V.3	V.2	V.2	25-50	5-25	5-25	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>cakiletosum edentulae</i> Grandtner 1971	/1	/0+	03	04	04	05	/+	0/3	/r	03	01	03	.	.	.	/+	/+	/+	.	/+	V.3	IV.+	V.2	25-50	0,5-1	5-25	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>juncetosum baltici</i> Grandtner 1971	/+	.	/-	.	.	.	.	/-	.	/+	/+	/-	.	.	.	/+	/+	.	/-	/r	V.+	V.+	V.+	0,5-1	0,5-1	0,5-1	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>myricetosum pensylvanicae</i> Grandtner 1971	/1				.	.	/r	/1	/+	/1	/+	03	/03	/1	/02	.	/+	03	.	/r	IV.2	V.2	V.2	5-25	5-25	5-25	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>lathyretosum japonici</i> Grandtner 1971			/1	.	.	.	.	.	.	/02	/2		/02	/1	01	.	/02	/+	.	/r	IV.1	V.2	IV.2	1-5	5-25	5-25	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>arenarietosum peploidis robustae</i> s. -ass. nova <sup>1</sup>			.																/+	/r	I.r	II.+	I.r	0,1-0,5	0,5-1	0,1-0,5	
Différentiels des sous-géosigmassociations																											
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>spartinetosum pectinatae</i> s. -ass. nova <sup>1</sup>	.	/r					.	.	.	.	.	.									III.r		II.r	0,1-0,5	.	0,1-0,5	
<i>Empetro nigri-Arctostaphyletum uvae-ursi</i> n. prov.											.	.	01	04	04	01	02	/02	03	/03	I.+	V.3	IV.3	0,5-1	25-50	25-50	
<i>Junipero communis megistocarpae-Piceetum glaucae parvae</i> Grandtner 1976											.	.	03	/+	/+	02	03	/02	03	04	I.i	V.3	III.3	0-0,1	25-50	25-50	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>vaccinietosum angustifolii</i> Grandtner 1976									.	/1			/+		/02	03	.	/+	/+	/r	I.1	V.2	III.2	1-5	5-25	5-25	
<i>Hudsonietum tomentosae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978															.	.	.	.	0,2	.	.	IV.1	II.1	.	1-5	1-5	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>hudsonietosum tomentosae</i> Grandtner 1971															.	.	.	/1	02	.	.	IV.1	II.1	.	1-5	1-5	
<i>Alnetum crispae</i> s.l.													.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV.r	II.r	.	0,1-0,5	0,1-0,5	
Contacts avec la plage																											
<i>Cakiletum edentulae</i> (Conard 1935) Grandtner 1974 <i>cakiletosum edentulae</i> Grandtner 1974	.	+			/+	/1	.	/2	/+	/+	.	/+		/+	/r		/r		.	.	IV.1	II.+	III.1	1-5	0,5-1	1-5	
<i>Cakiletum edentulae</i> (Conard 1935) Grandtner 1974 <i>arenarietosum peploidis</i> Grandtner 1974				/2		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	/r	.	.	.	II.1	III.r	III.1	1-5	0,1-0,5	1-5	
<i>Arenarietum peploidis robustae</i> ass. nova <sup>1</sup>				.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	/+	/+	II.+	IV.+	II.+	0,5-1	0,5-1	0,5-1	
Caoudeys et contacts hygrophiles internes																											
Sable nu	.	+	01	/1		.	.	02	/+	02	/+	02	/+	02	01	.	.	02	/+	.	.	V.2	V.1	V.1	5-25	1-5	1-5
<i>Juncetum littorale</i> Grandtner 1966									.	.	.	.	.	/r	.	.	.	.	.	.	II.1	V.r	III.+	1-5	0,1-0,5	0,5-1	
<i>Vaccinietum macrocarpi</i> s.l.									.	.	.	01			.	.	.	/+	/r		I.1	III.+	II.1	1-5	0,5-1	1-5	
<i>Myricetum galis</i> s.l.									.	.	.	.			.	.	.	.	.	.	I.r	II.+	I.+	0,1-0,5	0,5-1	0,5-1	
Accidentels									.	.	.	.									I.r	.	I.r	0,1-0,5	.	0,1-0,5	
<i>Caricetum paleaceae</i> Grandtner 1966 a									.	.	.	.	/+								.	I.+	I.+	.	0,5-1	0,5-1	
<i>Junipero communis megistocarpae-Piceetum glaucae parvae</i> Grandtner 1976 avec <i>Pinus banksiana</i> planté									.	.	.	.			/1						.	I.1	I.1	.	1-5	1-5	
<i>Empetro nigri-Arctostaphyletum uvae-ursi</i> n. prov. avec <i>Pinus resinosa</i> planté									.	.	.	.			.						.	I.1	I.1	.	1-5	1-5	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 secondaire, d'érosion									.	.	.	.			.						.	I.r	I.r	.	0,1-0,5	0,1-0,5	
<i>Ammophiletum breviligulatae</i> (Conard 1935) Grandtner 1978 <i>myricetosum pensylvanicae</i> Grandtner 1971 avec <i>Epilobium angustifolium</i>									.	.	.	.	.				.				.	I.r	I.r	.	0,5-1	0,1-0,5	
<i>Rhynchosporium albae</i> Grandtner et al. 1973									.	.	.	.					.				.	I.r	I.r	.	0,5-1	0,1-0,5	
<i>Elymetum arenarii</i> Dansereau 1959 <i>cakiletosum edentulae</i> Grandtner 1972									.	.	.	.								.	.	I.r	I.r	.	0,5-1	0,1-0,5	
<i>Ligusticetum scothici</i> Dansereau 1959									.	.	.	.								.	.	I.r	I.r	.	0,5-1	0,1-0,5	

<sup>1</sup> Pour la description voir «Nouvelles unités phytosociologiques»

<sup>2</sup> A. *ammophiletoso breviligulatae geosigmetosum*

B. *empetro nigri-arctostaphyletoso uvae-ursi geosigmetosum*

C. *Ammophiletum breviligulatae geosigmetum*



des coefficients d'abondance-dominance toujours inférieurs à 1. Quant aux autres sous-associations caractéristiques de ce même niveau, à savoir *cakiletosum edentulae*, *myricetosum pennsylvanicae*, *lathyretosum japonici* et *arenarietosum peploidis robustae*, leurs coefficients d'abondance-dominance indiquent leur préférence pour l'une ou l'autre des deux sous-géosigmassociations.

Au contact de la plage, on observe le *Cakiletum edentulae*, représenté par ses deux sous-associations: *cakiletosum edentulae* et *arenarietosum peploidis robustae*, alors que les caoudeys contiennent les syntaxons hygrophiles: *Juncetum littorale*, *Vaccinietum macrocarpi* et *Myricetum galis*.

Les tableaux V et VI permettent de reconnaître deux sous-géosigmassociations: (1) *ammophiletosum breviligulatae geosigmatosum* (relevés 1 à 12; relevé type n° 3 du tableau V) différenciée par la présence sporadique, et toujours avec de très faibles coefficients d'abondance-dominance, de l'*Ammophiletum breviligulatae spartinetosum pectinatae* et l'absence quasi totale des syntaxons des dunes fixées. C'est dans cette sous-géosigmassociation que l'*Ammophiletum breviligulatae cakiletosum edentulae* atteint ses plus forts coefficients d'abondance-dominance.

La deuxième sous-géosigmassociation, (2) *empetro nigri-arctostaphyletosum uvae-ursi geosigmatosum* (relevés 13 à 20; relevé type n° 19 du tableau V) contient, de façon constante, les syntaxons des dunes fixées: la lande (*Empetro nigri-Arctostaphyletum uvae-ursi*) et la forêt rabougrie (*Junipero communis megistocarpae-Piceetum glaucae parvae*), accompagnés de la sous-association la plus évoluée de l'*Ammophiletum breviligulatae*, le *vaccinietosum angustifolii*. Les autres syntaxons différentiels, moins fréquents, sont: le *Hudsonietum tomentosae*, l'*Alnetum crispae* et l'*Ammophiletum breviligulatae hudsonietosum tomentosae*. Ajoutons que l'*Ammophiletum breviligulatae cakiletosum* y est moins abondant alors que les sous-associations *lathyretosum* et *myricetosum* de ce même *Ammophiletum* ont tendance à le devenir un peu plus et que les taxons des caoudeys et les taxons accidentels y sont plus fréquents.

Dans l'ensemble, le nombre de syntaxons est bien plus élevé que ne le faisait soupçonner le travail préliminaire de Géhu (1977), qui n'a pas distingué les sous-associations.

Il varie de 5 à 13 dans la sous-géosigmassociation de l'ammophilaie breviligulée à spartine pectinée et atteint presque le double, soit de 11 à 19, dans celle à arctostaphylaie raisin d'ours et camarine noire.

Quant à la superficie occupée par les syntaxons, c'est l'ammophilaie typique qui vient en tête de liste avec 27% ou 1 532 ha de l'étendue de la géosigmassociation. Sa proportion monte jusqu'à 44% dans la sous-géosigmassociation de l'ammophilaie à spartine pectinée alors qu'elle n'est que de 10% dans la sous-géosigmassociation de l'arctostaphylaie à camarine. Le deuxième syntaxon en importance est la lande à arctostaphyle et camarine avec près de 17% ou 928 ha, marquant une nette prépondérance de la sous-géosigmassociation du même nom (32% contre 0,5% pour la première sous-géosigmassociation).

Les autres syntaxons par ordre décroissant de superficie sont: l'ammophilaie à cakilier (14%), la pessière blanche rabougrie à génévrier commun (10%), l'ammophilaie à myrique baumier (7%), le sable nu (7%), l'ammophilaie à bleuet (5%), etc.

Comparées avec les données de l'un de nous (Grandtner, 1967), les valeurs concernant les superficies des différents syntaxons contenues dans la dernière colonne du tableau VI présentent un énorme avantage car, elles permettent, à partir de la carte classique de la végétation au 50 000<sup>e</sup>, de connaître la superficie occupée par chaque syntaxon, et pas seulement celle couverte par les trois stades évolutifs cartographiés dans le travail précité comme sables côtiers, lande à empetrum et pessière-sapinière à lichens. En ce sens la méthode symphytosociologique permet le raffinement de la connaissance à la fois qualitative et quantitative des unités du paysage végétal.

## Remerciements

Nos remerciements vont à Madame C. Ansseau-Nuyt avec laquelle nous avons pu discuter de quelques problèmes de symphytosociologie.

## Références

- BÉGUIN, C. & O. HEGG, 1975. Quelques associations d'associations (sigmassociations) sur les anticlinaux jurassiens recouverts d'une végétation naturelle potentielle (essai d'analyse scientifique du paysage). — Doc. phytosoc., 9-14: 9-18.

- BÉGUIN, C. & O. HEGG, 1976. Une sigmassociation remarquable au pied du premier anticlinal jurassien. — *Doc. phytosoc.*, 15-18: 15-24.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1928. *Pflanzensoziologie*, 1<sup>ère</sup> éd. — Berlin, 330 p.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1932. *Plant sociology*. [English translation of *Pflanzensoziologie* by G.D. Fuller & H.S. Conard]. — McGraw-Hill, New York, 439 p.
- CONARD, H.S., 1935. The plant associations of central Long Island. A study in descriptive plant sociology. — *Am. Midl. Nat.*, 16: 433-516.
- DANSEREAU, P., 1959. *Phytogeographia laurentiana*. II. The principal plant associations of the Saint Lawrence Valley. — *Contr. Lab. bot. Univ. Montréal*, n° 75, 147 p.
- FERNALD, M.L., 1950. *Gray's manual of botany*. — American Book, New York, 1632 p.
- GÉHU, J.-M., 1974. Sur l'emploi de la méthode phytosociologique sigmatiste dans l'analyse, la définition et la cartographie des paysages. — *C.R. Acad. Sci. Paris*, 279: 1167-1170.
- GÉHU, J.M., 1976. Sur les paysages végétaux ou sigmassociations des prairies salées du nord-ouest de la France. — *Doc. phytosoc.*, 15-18: 57-62.
- GÉHU, J.M., 1977. Le concept de sigmassociation et son application à l'étude du paysage végétal des falaises atlantiques françaises. — *Vegetatio*, 34: 117-125.
- GÉHU, J.-M., 1978. Premiers éléments pour un sigmasystème des dunes sèches holarctiques. — Pages 267-272 in R. Tüxen (éd.), *Assoziations-komplexe (Sigmeten)*. *Ber. Symp. int. Ver. f. Vegetationskunde*, Rinteln, 1977, 535 p.
- GÉHU, J.M., 1979. Pour une approche nouvelle des paysages végétaux: la symphytosociologie. — *Bull. Soc. bot. Fr.*, 126, *Lettres Bot.* 1979 (2): 213-223.
- GÉHU, J.M. & S. RIVAS-MARTINEZ (sous presse). Notions de phytosociologie sigmatiste, paysagère et chorologique. — *Ber. Symp. int. Ver. f. Vegetationskunde*, Rinteln, 1980.
- GRANDTNER, M.M., 1966. Observations sur la végétation des marais des Îles-de-la-Madeleine. — *Naturaliste can.*, 93: 771-777.
- GRANDTNER, M.M., 1966a. Premières observations phytopédologiques sur les prés salés des Îles-de-la-Madeleine. — *Naturaliste can.*, 93: 361-366.
- GRANDTNER, M.M., 1967. Les ressources végétales des Îles-de-la-Madeleine. — *Bull. Fonds Rech. for. Univ. Laval*, n° 10, 53 p.
- GRANDTNER, M.M., 1968. Quelques observations sur la végétation psammophile des Îles-de-la-Madeleine. — *Collnea bot.*, Barcinone, 7(25): 519-530.
- GRANDTNER, M.M., 1971. Écologie des dunes de West Brackley Beach, parc national de l'île-du-Prince-Édouard. Rapport final. — Université Laval, Québec, 74 et 91 p.
- GRANDTNER, M.M., 1972. Description détaillée des groupements végétaux de la péninsule de Penouille, parc national Forillon, Québec. — Rapport final, Min. Aff. ind. Nord can., Dir. Parcs nat. Lieux hist., Ottawa, vol. 1, 174 p.
- GRANDTNER, M.M., 1974. Le *Cakiletum edentulae* des Îles-de-la-Madeleine. — *Doc. phytosoc.*, 7-8: 35-44.
- GRANDTNER, M.M. (éd.), 1976. Guide de l'excursion internationale nord-américaine. 2. Québec méridional, Canada. — Université Laval, Québec, 179 p.
- GRANDTNER, M.M., 1978. Trois groupements végétaux des sables côtiers de Pine Point, Maine, U.S.A. — *Doc. phytosoc.*, N.S., 2: 247-260.
- GRANDTNER, M.M. & F. VAUCAMPS, 1977. Compte rendu de la réunion nord-américaine. 2. Québec méridional, Canada. — *Lab. Écol. for.*, Univ. Laval, Québec, 73 p.
- GRANDTNER, M.M., Z. MAJCEN & J. ROUFFIGNAT, 1973. Analyse et cartographie de la végétation du parc national Forillon, Québec. — Rapport final, Min. Aff. ind. Nord can., Dir. Parcs nat. Lieux hist., Ottawa, 10 vol., 765 p.
- HULTÉN, E., 1970. The circumpolar plants. II. Dicotyledons. — *K. svenska VetenskAkad. Handl.*, Fjärde Serien, B, 13, no. 1, 461 p.
- LAMOUREUX, G. & M.M. GRANDTNER, 1977. Contribution à l'étude écologique des dunes mobiles. I. Les éléments phytosociologiques. — *Can. J. Bot.*, 55: 158-171.
- RIVAS-MARTINEZ, S., 1976. *Sinfitosociologia, una nueva metodologia para el estudio del paisaje vegetal*. — *An. Inst. bot. A.J. Cavanillo*, 33: 179-188.
- SCHMITHÜSEN, J., 1968. *Allgemeine Vegetationsgeographie*. — *Lehrbuch der allgemeinen Geographie*, 4, Berlin, 463 p.
- TÜXEN, R., 1973. Vorschlag zur Aufnahme von Gesellschaftskomplexen in potentiell natürlichen Vegetationsgebieten. — *Acta bot. hung.*, 19: 379-384.
- TÜXEN, R., 1978. Bemerkungen zur historischen, begrifflichen und methodischen Grundlagen der Synsoziologie. — Pages 3-12 in R. Tüxen, (éd.), *Assoziationskomplexe (Sigmeten)*. *Ber. Symp. int. Ver. f. Vegetationskunde*, Rinteln, 1977, 535 p.
- TÜXEN, R. (éd.), 1978a. *Assoziationskomplexe (Sigmeten)*. — *Ber. Symp. int. Ver. f. Vegetationskunde*, Rinteln, 1977, 535 p.
- TÜXEN, R., 1979. *Sigmeten und Geosigmeten. Ihre Ordnung und ihre Bedeutung für Wissenschaft, Naturschutz und Planung*. — *Biogeographica*, 16: 79-92.

## VARIATIONS IN PHYTOPLANKTON COMMUNITIES IN CANADIAN ARCTIC PONDS

D. G. WALLEN and R. ALLEN

Department of Biology, University of Windsor  
Windsor, Ontario N9B 3P4

### Résumé

En 1977, on a étudié la structure de communautés phytoplanctoniques de quatre étangs arctiques, deux situés sur l'île de Baffin et deux sur l'île Devon. Les taux de production varient selon les étangs, de 2,2 à 14,4 mg C/m<sup>3</sup>/h, et se situent dans les limites des taux rapportés dans la littérature pour des étangs de l'Alaska. La biomasse varie également dans les étangs de 87 à 570 mg/m<sup>3</sup> et un maximum est enregistré dans l'étang n° 1 (1 860 mg/m<sup>3</sup>) dépassant alors les valeurs habituelles de la littérature.

Les Chrysophyceae et les Cryptophyceae sont les groupes dominants de trois étangs. Les taxons importants de l'étang n° 1 sont *Chromulina*, *Ochromonas* et *Mallomonas*, ceux de l'étang n° 3, *Rhodomonas* et *Oedogonium*, et ceux de l'étang n° 4 *Rhodomonas* et *Ochromonas*. Le cyanophyte *Oscillatoria limosa* représente 75% de la biomasse totale de l'étang n° 2, contrairement au fait que les algues bleues sont habituellement rares dans l'Arctique.

### Abstract

Phytoplankton community structure was examined in four Canadian Arctic ponds, two on Baffin Island and two on Devon Island during August 1977. Production rates were quite variable among the ponds, ranging from 2.2 to 14.4 mg C/m<sup>3</sup>/h. All values were within the range reported for Alaskan ponds. Phytoplankton biomass in the ponds was also quite variable. Total biomass in pond 1 (1860 mg/m<sup>3</sup>) was higher than that reported for tundra ponds. Biomass in the other three ponds were similar to other reported values, ranging from 87 to 570 mg/m<sup>3</sup>.

The Chrysophyceae and Cryptophyceae were the dominant components of three ponds. The important taxa in pond 1 were *Chromulina*, *Ochromonas* and *Mallomonas*, in pond 3 *Rhodomonas* and *Oedogonium*, in pond 4 *Rhodomonas* and *Ochromonas*. The cyanophyte *Oscillatoria limosa* comprised 75% of the total biomass, in pond 2, in disagreement with the widely accepted belief that blue-greens are rare in the Arctic.

### Introduction

One of the remarkable geological features of the Arctic are the thermokarst ponds, the most abundant type of water body in the Arctic (Britton, 1957). These Arctic ponds are a different habitat than the deep, glacially formed lakes. These bodies of water are less than 2 m deep, smaller than 100 m<sup>2</sup>, which freeze solid every winter (Hobbie, 1973). The ponds thaw earlier and because they are shallower tend to heat up more than lakes. Due to their high density they doubtless form the most important habitat for phytoplankton in the area. Because they freeze solid there is no inoculum of active

cells at ice-break as in deeper lakes (Sheath *et al.*, 1975).

In spite of the abundance of these ponds there have been few detailed examinations of their algal composition. Fluctuations of phytoplankton and primary productivity in individual ponds have been reported by Kalff (1967), Alexander & Coulon (1973), Sheath *et al.* (1975) and Stanley & Daley (1976). Members of the class Chrysophyceae and Cryptophyceae frequently dominate the biomass (Alexander & Coulon, 1973; Sheath *et al.*, 1975).

There remains a good deal to learn of phytoplankton community structure in

Canadian Arctic ponds. In August 1977, we initiated a preliminary study of the phytoplankton communities of four Arctic ponds, two on Baffin Island and two on Devon Island. These studies were conducted in conjunction with the 5<sup>th</sup> Acadia Arctic Biology Expedition from August 1 to September 12.

**Materials and methods**

Integrated water samples were collected for phytoplankton enumeration. Water was taken from the ponds by inserting bottles into the ponds from the shoreline. The water was mixed, fixed with Lugol's solution and settled for enumeration in an inverted microscope (Wild 40) according to the technique of Utermöhle. Aliquots of from 5 to 80 ml, depending on phytoplankton population density were sedimented in settling chambers. Half of the entire viewing field was counted at 300 × magnification for the net plankton. Nannoplankton species were counted at 600 × magnification on strips

along the diameter of the viewing field. At least 250 entities (one entity being equivalent to either one solitary cell or one colony) were counted in each sample. The cell counts for each species of alga were converted to cell volume by the method of Gruendling (1971). Length, breadth and height of cells were determined and the appropriate equation and correction factor used to calculate the volume. At least fifty cells of each species were normally used to derive an average value.

**Description of the ponds**

Analyses were conducted on two ponds on southern Baffin Island and two ponds on southwest Devon Island (Fig. 1). A synopsis of these habitats is given below.

**SOUTHERN BAFFIN ISLAND**

*Pond 1:* This is a small oval shaped pond, about 30 × 20 m in area, located at Pritzler

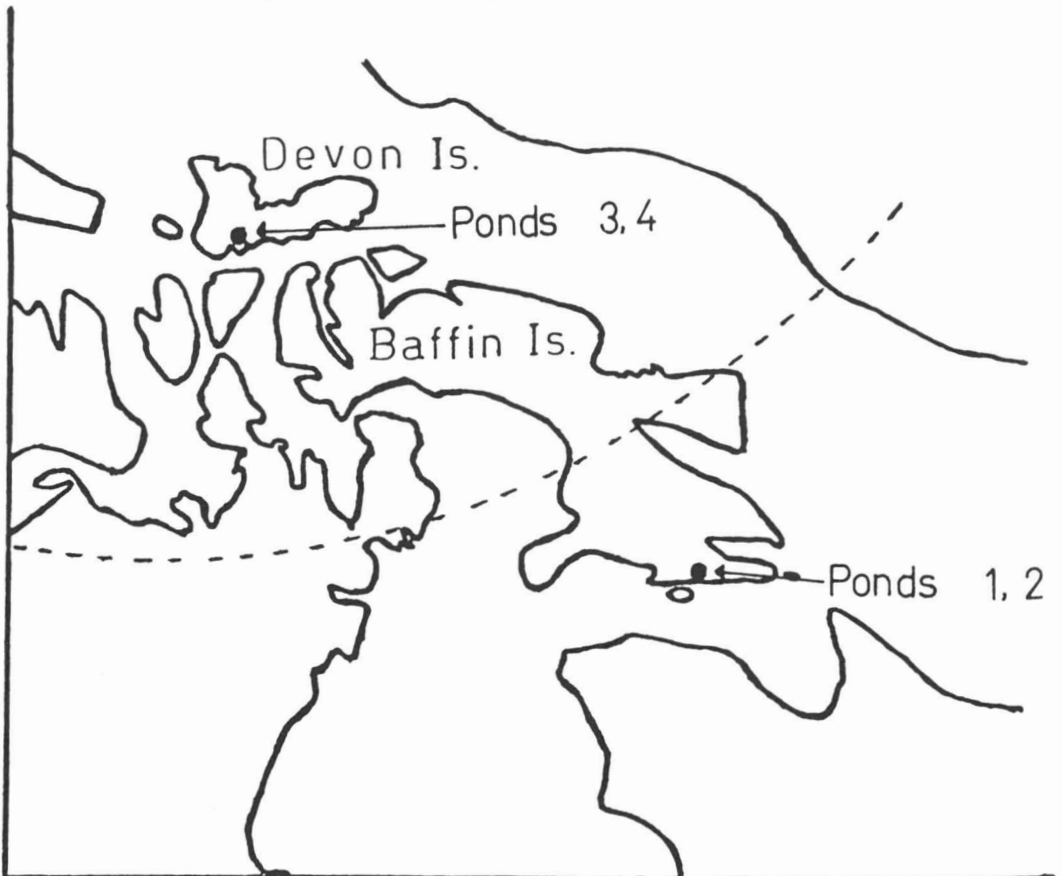


Figure 1. Location of the ponds on Baffin Island and Devon Island in the Canadian Arctic.

Harbour (62° 7' N, 67° 16' W) at an elevation of 10 m. The pond is situated in a small sedge meadow and has a mud bottom 0.5 m deep. The average depth of the pond is 30-40 cm. It is important to note that this pond was frequented by geese, thus a large number of goose fecal pellets were observed around the edge. A small snowbank fed into the pond. The major fauna of this pond was *Daphnia middendorffiana*.

*Pond 2:* This is a small rectangular pond, length 10 m and width 5 m, at an elevation of 20 m. Its depth varies between 15 and 20 cm. The rocky bottom was covered with a light algal mat, composed of *Oscillatoria limosa* (Roth) C.A. Agardh. The pond is located in a very rocky area from which no runoff was visible. Zooplankton was absent from this pond.

#### SOUTHWEST DEVON ISLAND

*Pond 3:* This is a large circular pond, 100 m in diameter, situated in a sedge meadow and surrounded by raised beach about 500 m from Gasgoyne Inlet (74° 40' N, 91° 20' W). Like other ponds in the area it is shallow throughout with a maximum depth of 0.75 m. The bottom is composed of a mixture of stones and mud. The depth of the latter varies, getting deeper towards the centre of the pond. Two fairy shrimp genera were present, *Branchinecta* and *Artemiopsis*.

*Pond 4:* This is a boomerang-shaped pond, length 200 m, width 25 m, 20 m from the sea at one point. The mean depth is 0.5 m and the bottom consists of a mixture of rock and mud. The catchment area is mainly raised beach. The same fairy shrimp genera were present as in pond 3.

### Results

Large variations in cell biomass and species occurred between the four ponds during the test period. Pond 1 had the highest number of species, 56 (Table I), and the highest total biomass of all the ponds, 1860.62 mg · m<sup>-3</sup>. This pond was dominated by the Chrysophyceae, contributing 70.6% of the total biomass (Fig. 2). The Dinophyceae (12.9%) and the Chlorophyceae (7.0%) were the only other groups to form a significant portion of the biomass. The most predominant taxa observed were species of *Chromulina*, *Ochromonas*, and *Mallomonas*. Net plankton (> 65 µm) accounted for only 3% of the biomass.

The total biomass for pond 2 was 571.44 mg · m<sup>-3</sup>. Forty-three species were observed. The Cyanophyceae almost entirely composed of the net plankton *Oscillatoria limosa* (Roth) Ag. (99%) comprised 75% of the total biomass (Fig. 2). The Chrysophyceae was the only other important group, contributing 16.3% of the total biomass. Included in this class were *Ochromonas granularis* Dofl. and species of *Chromulina*. In this pond 80.7% of the biomass consisted of net plankton, predominantly *Oscillatoria limosa* (Roth) Ag.

Pond 3 supported the lowest biomass of all four ponds, 87 mg · m<sup>-3</sup> (mean of two counts; samples were recounted to confirm this low biomass and the group composition). Net plankton accounted for 21% of this biomass. Interestingly, the Chlorophyceae contributed 65% of this total biomass (Table II). The net plankton *Oedogonium* sp. was the most abundant species, comprising 29% of the biomass. The cryptomonads, chiefly *Rhodomonas minuta* Skuja and the diatoms were of some importance (14% and 11% respectively). A total of 28 species were observed in pond 3 (Table I).

Thirty-three species of phytoplankton were observed to occur in pond 4 (Table I). The total biomass (435 mg · m<sup>-3</sup>) was dominated by the Chrysophyceae (61% of total biomass) and the Cryptophyceae (34%). No other group was important in this pond. *Rhodomonas minuta* Skuja (32%) and *Ochromonas granularis* (17%) were the dominant taxa. Net plankton accounted for only 4% of the total biomass.

None of the communities examined was entirely unique or isolated from the others and this is reflected in a number of common species. There were 14 species (18.2% of the total) present in all four ponds and 28 species (36.4% of the total) present in at least three ponds. Twenty-four species (31.2% of the total) were present in only one pond.

There were a number of interesting differences in the algal composition of the four ponds. The Cyanophyta, while the dominant group in pond 2, comprised only 0.9% and 0.1% of the total biomass in ponds 1, 3 and 4 respectively (Table II). Only *Oscillatoria angustissima* West & West and *O. limosa* (Roth) Ag. were present in all four ponds (Table I). Four species were found only in a single pond. For example *Merismopedia punctata* Meyen was observed only in pond 3.

TABLE I

Phytoplankton species and biomass (mgC · m<sup>-3</sup>) in four Canadian Arctic ponds

	Pond number			
	1	2	3	4
<b>Cyanophyceae</b>				
<i>Anabaena cylindrica</i> Lemm.	4.59	0.04	—	0.03
<i>Aphanocapsa elachista</i> var. <i>conferta</i>	—	—	0.31	—
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.	1.97	—	3.28	0.10
<i>C. minor</i> (Kg.) Naeg.	—	0.19	0.17	—
<i>Eucapsis minuta</i> Fritsch	—	0.15	—	0.02
<i>Gleocapsa punctata</i> Naeg.	9.10	—	0.43	—
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	—	—	0.32	—
<i>Microcystis incerta</i> Lemm.	—	0.03	—	—
<i>Oscillatoria angustissima</i> West & West	0.01	0.25	0.11	0.04
<i>O. limnetica</i> Lemm.	0.79	0.02	—	0.03
<i>O. limosa</i> (Roth) Ag.	1.12	427.86	0.45	0.01
<i>O. ornata</i> Kg.	—	0.06	—	0.07
<i>Oscillatoria</i> sp.	1.70	0.02	0.02	—
<i>Pormidium</i> sp.	0.02	—	—	—
<b>Chlorophyceae</b>				
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	0.05	—	0.02	—
<i>Closterium granatum</i> Breb.	8.47	—	—	0.52
<i>C. setaceum</i> Ehr.	0.89	—	0.22	1.71
<i>C. parvulum</i> Naeg.	—	—	0.46	—
<i>Cosmarium</i> (granatum?) Breb.	1.58	—	—	1.08
<i>Cosmarium</i> sp.	—	—	—	2.09
<i>Microspora</i> sp.	—	—	0.85	—
<i>Mougeotia</i> sp.	0.52	—	—	—
<i>Oedogonium</i> sp.	4.41	0.48	54.13	11.73
<i>Oocystus parva</i> West & West	10.37	0.99	—	—
<i>O. solitaria</i> Wittrock	6.17	1.66	—	1.78
<i>Scenedesmus denticulatus</i> Lagerh.	24.88	2.06	0.27	—
<i>Staurastrum dalatam</i> Ehr.	50.34	—	—	—
<b>Euglenophyceae</b>				
<i>Euglena gracilis</i> Klebs	—	0.35	—	—
<i>Trachelomonas pulcherima</i> Playf.	51.69	—	—	—
<b>Bacillariophyceae</b>				
<i>Cyclotella</i> sp.	—	—	1.60	—
<i>Cymbella turgida</i> (Greve) Cleve	0.84	0.39	2.38	0.09
<i>C. ventricosa</i> Kg.	5.82	—	—	0.17
<i>Diatoma elongatum</i> (Lyngb.) Ag.	0.19	3.66	2.31	0.02
<i>Navicula pupula</i> Kg.	—	0.10	0.91	0.12
<i>Nitzschia alaskana</i> Patr. & Freese	41.94	0.70	0.83	0.07
<i>N. vermicularis</i> Kg. Grun	—	0.83	—	0.21
<i>Synedra ulna</i> Nitzsch.	9.62	5.95	—	—
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kg.	—	5.53	1.17	3.99
<i>F. flocculosa</i> (Roth) Ag.	0.59	—	1.12	0.97
<b>Chrysophyceae</b>				
<i>Chromulina mikroplankton</i> Pasch.	343.63	5.15	0.34	1.19
<i>C. ovalis</i> Klebs	345.25	24.87	0.59	12.77
<i>Chromulina</i> spp. (3 or 4)	111.95	26.95	3.37	78.12
<i>Chrysococcus elegans</i> (Dofl.) Bourelly	60.88	—	—	20.85
<i>C. minutus</i> (Fritsch) Nygaard	8.13	—	—	—
<i>C. rufescens</i> Klebs	8.14	—	—	—
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	2.89	0.60	—	—
<i>Epipyxis alata</i> Hilliard & Asmund	12.77	0.58	—	61.44
<i>E. utriculus</i> Ehr.	2.32	7.75	—	—



TABLE I (continued)

<i>Mallomonas</i> sp.	181.36	3.63	—	—
<i>Ochromonas elegans</i> Dofl.	105.07	0.51	0.69	3.56
<i>O. granularis</i> Dofl.	—	16.78	—	74.29
<i>O. miniscula</i>	4.68	—	—	—
<i>O. nana</i> Dofl.	82.21	0.83	—	5.62
<i>O. nannos</i> Skuja	6.61	—	0.08	6.38
<i>O. pigmentata</i> Dofl.	0.60	—	—	—
<i>O. silvarum</i> Dofl.	3.54	—	—	—
<i>O. stellaris</i>	1.21	—	—	—
<i>Pseudokephyrion ellipsoideum</i> (Pasch.) Schm.	7.25	1.28	—	0.26
<i>P. entzii</i> Conrad	—	0.30	—	—
<i>P. hyalinum</i> Hilliard	5.73	0.58	—	—
<i>Pseudopedinella erkensis</i> Skuja	6.98	3.59	—	—
<i>Uroglena americana</i> Calkins	11.78	—	—	—
<b>Cryptophyceae</b>				
<i>Chroomonas minuta</i> (Skuja) Bourelly	—	0.39	—	—
<i>Cryptomonas lobata</i> Korsch	4.16	2.48	—	—
<i>C. Marssonii</i> Skuja	5.09	6.61	—	—
<i>C. purailla</i> Bachm.	22.76	0.32	—	—
<i>Cryptomonas</i> sp. (phaseolus?)	8.80	0.33	—	—
<i>Rhodomonas lacustris</i> Skuja	—	—	0.87	5.08
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja	6.92	2.08	12.66	141.12
<b>Dinophyceae</b>				
<i>Amphidinium luteum</i> Skuja	127.70	7.22	—	—
<i>Dinosphaera palustris</i> Lemm.	16.67	—	—	—
<i>Gymnodinium ordinatum</i> Skuja	76.41	6.94	—	—
<i>G. profundum</i> Schiller	12.59	—	—	—
<i>Peridinium cinctum</i> (Müll.) Ehr.	6.80	—	—	—

Euglenoids were poorly represented in these ponds, occurring only in ponds 1 and 2 on Baffin Island. They were absent from the ponds on Devon Island. A single different euglenoid was observed in each of the ponds, *Trachelomonas pulcherima* Playf. in pond 1 representing 2.8% of the biomass in that pond. *Euglena gracilis* Klebs, while present, was negligible in pond 2. Five dinoflagellates were identified in pond 1, accounting for 12.9% of the biomass. Only two of these species, *Amphidinium luteum* Skuja and *Gymnodinium ordinatum* Skuja were present in pond 2. Dinoflagellates were absent in ponds 3 and 4.

*Oedogonium* sp. was the dominant green alga in pond 3 (54.7% of the total biomass), though this group accounted for only 4.3% of the biomass in pond 4. *Oedogonium* is the dominant green (Table I). The cryptomonad *Rhodomonas minuta* Skuja is also important in pond 3 (12.8% of the total biomass). The chrysophytes accounted for more than 60% of the total biomass in ponds 1 and 4, but there were some notable differences. *Chromulina* sp., particularly *Chromulina niroplankton* Pasch. and *C. ovalis* Klebs

were the most important species of chrysophytes in pond 1 (together they account for 37.1% of the total biomass). Four unidentified *Chromulina* species were more important in pond 4 (17.9% of the total biomass). *Mallomonas* sp., the second most important genus in pond 1 (9.7% of total biomass) was absent in pond 4. *Ochromonas elegans* Dofl. and *O. nana* Dofl. were important chrysophytes in pond 1, *O. granularis* accounted for 17.1% of the biomass in pond 4. *Epipyxis alata* Hilliard & Asmund were also of importance in pond 4, 14.1% of the total biomass.

The Cryptophyceae were only of significance in pond 4, accounting for 33.6% of the total biomass. Only two species were observed, *Rhodomonas lacustris* Skuja and *R. minuta* Skuja.

## Discussion

The phytoplankton communities of the four ponds are especially noteworthy for their differences in total biomass and composition. Ponds 1 and 2 on Baffin Island

# Total Phytoplankton Biomass and Group Composition

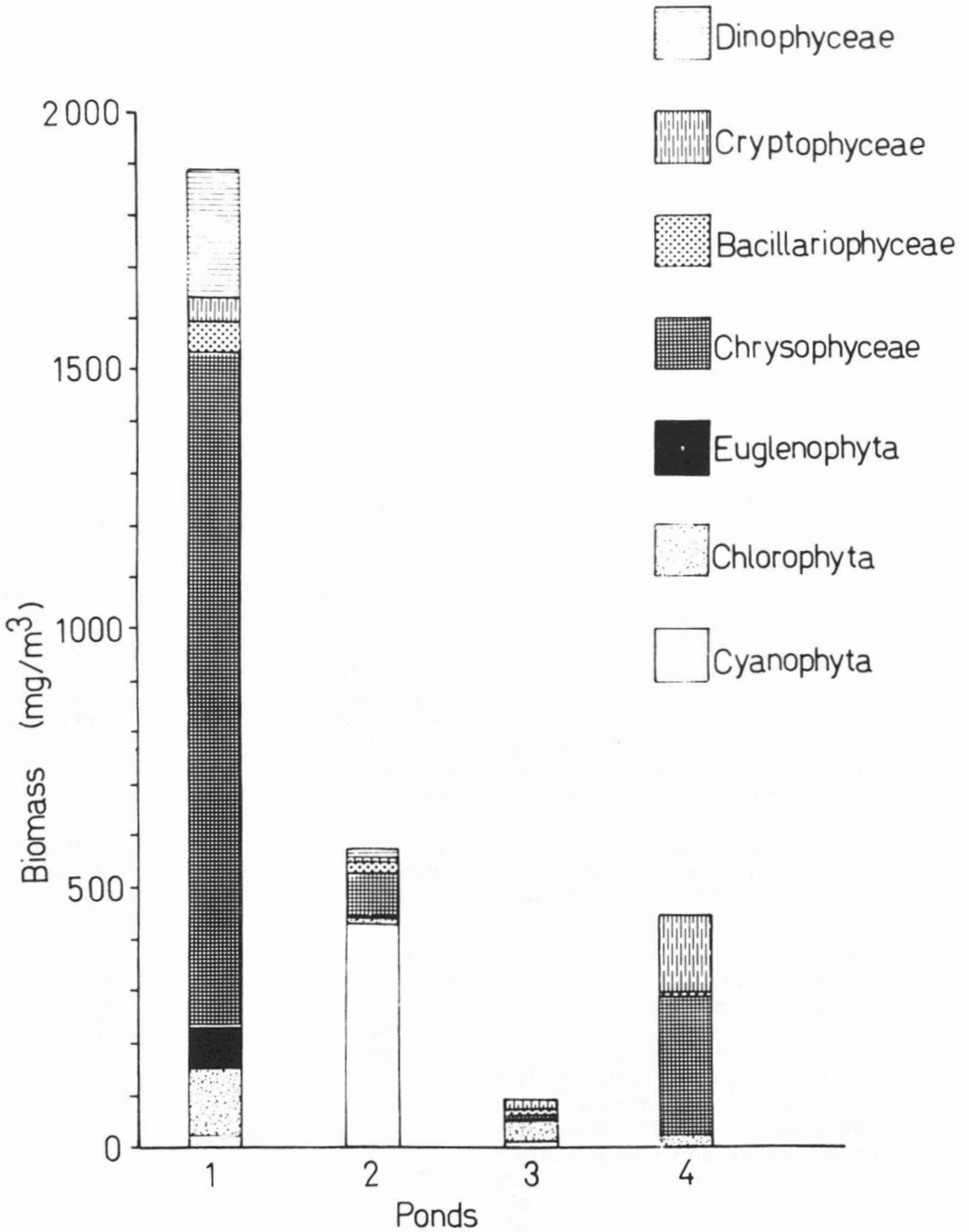


Figure 2. Total phytoplankton biomass and group composition in the four Arctic ponds.

TABLE II

Total group biomass (percent composition by groups)

Class	Pond 1	Pond 2	Pond 3	Pond 4
Bacillariophyceae	3.2	3.0	11.4	1.3
Chlorophyceae	7.0	1.0	64.6	4.3
Chrysophyceae	70.6	16.3	5.1	60.7
Cryptophyceae	2.6	2.1	13.7	33.6
Cyanophyceae	0.9	75.0	5.2	0.1
Dinophyceae	12.9	2.5	0	0
Euglenophyceae	2.8	0.1	0	0

are less than 10 m apart. The distance between the ponds on Devon Island is also less than 10 m. One of the outstanding features of this investigation is the remarkably high standing crop in pond 1. Pond 1 biomass ( $1860 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) was significantly higher than the maximum reported by Alexander *et al.* (1972) for three Barrow tundra ponds ( $800$  to  $1200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) and the peak published by Sheath *et al.* (1975) for a tundra pond in the Northwest Territories ( $388 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). By further comparison pond 1 total biomass was very similar to the maximum phytoplankton biomass of  $1.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  reported by Vollenweider *et al.* (1974) for a mid-lake station in Lake Huron. Numerous biological, chemical and physical factors are known to influence the standing crop of algae (Blum, 1956; Round, 1960) and these clearly must have been at favourable levels. The organically rich sediments may have contributed to the nutrient levels in the overlying water of this shallow pond. Further, the large number of goose droppings likely contributed a significant nutrient load (Manny *et al.*, 1974). High levels of irradiation, which usually favour the formation and maintenance of large standing crops (Gruendling, 1971), were available since this area was situated in a region of continuous daylight during the summer. Water temperatures were low ( $8$ - $12^\circ\text{C}$ ), however, these algae presumably grow well under cold conditions. Many of the dominant species were typical nordic-alpine forms (Hustedt, 1930).

The high percentage of Cyanophyceae in pond 2 is unusual for the Arctic. Alexander *et al.* (1972), Sheath *et al.* (1975) and Sheath & Hellebust (1978) reported blue-green algae to be of minor importance in the tundra ponds they studied. We observed similar low levels in ponds 1, 3 and 4 where the

Cyanophyceae comprised no more than 5.2% of the total biomass. Hobbie (1973), who studied both ponds and lakes, remarked that blue-greens were virtually absent in the Arctic. Kalff (1970) made a similar observation. It would appear that our results are anomalous. However, *Oscillatoria limosa* (Roth) Ag. is predominantly a benthic alga and its presence in the euplankton is likely attributable to resuspension as a result of wind induced water movements, or they may derive from fragmentation of periphyton populations (Wetzel, 1975). It is interesting to note that Alexander & Barsdate (1971) reported that *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb dominated the June maximum of a lake near Fairbanks, Alaska. Blue-green algae usually become abundant in the more productive lakes of temperate regions in the summer, although some species of *Oscillatoria* such as *O. rubescens* and *O. prolifica* are cold-water forms. The high percentage of *O. limosa* in pond 2 may account for the low production rates observed (Table III), the lowest of the four ponds, *Oscillatoria* being an ineffective photosynthesizer (Findenegg, 1965). However, the possibility of nutrient limitation cannot be excluded, this pond was situated in rocky terrain with no obvious allochthonous nutrient source.

The results from pond 3 are also curious. The total biomass was the lowest of the four ponds, being only 5% of that of pond 1. Yet the mean production was 25% of that of pond 1, and in line with those of ponds 2 and 4. The major taxa were the Chlorophyceae, 64.6% of the total biomass. The phytoflagellates (Chrysophyceae, Cryptophyceae and Dinophyceae) — generally considered as being among the most efficient primary producers — together accounted for only 18.8% of the total biomass.

TABLE III  
Primary production in the four ponds

	Pond 1	Pond 2	Pond 3	Pond 4
mg Cass · m <sup>-3</sup> · h <sup>-1</sup>	14.4	0.67	4.10	2.26
	16.7	1.29	3.00	4.16
	12.2	4.50		
Mean	14.4	2.15	3.55	3.21
mg Cass · l <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup>	0.322	0.021	0.190	0.089
	0.773	0.106	0.153	0.214
	0.258	0.100		
Mean	0.452	0.076	0.172	0.151

Apparently, the phytoplankton of this pond or perhaps one or more of the algal groups was photosynthesizing more efficiently than that of other ponds.

The dominant class in arctic ponds — and often in lakes — has been considered to be the Chrysophyceae, although the Cryptophyceae can be dominant at certain times of the year (Prescott, 1963; Kalff, 1970, Alexander *et al.*, 1972; Hobbie, 1973; Sheath *et al.*, 1975). Prescott (1963) suggested that continuous irradiation accompanied by low water-temperatures is conducive to the development of motile organisms. In accord with these studies the overwhelming dominance of the Crysohyceae and Cryptophyceae in our pond 4, and also in pond 1, reflects their conclusions. The paucity of diatoms in tundra ponds and arctic lakes has also been widely accepted. Our results are in good agreement with this observation; diatoms accounted for only 1.3 to 12% (mean 5%) of the total biomass of these ponds.

### References

- ALEXANDER, V. & R.J. BARSDATE, 1971. Physical limnology, chemistry and plant productivity of a taiga lake. — *Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogeogr.*, 56: 825-872.
- ALEXANDER, V. & C. COULON, 1973. The relationship between selected environmental parameters and aquatic primary productivity. — U.S. I.B.P. Tundra Biome Report, 1973, p. 1-53.
- ALEXANDER, V., R. CLASBY & C. COULON, 1972. Primary productivity and phytoplankton studies in the Barrow tundra ponds. — Pages 169-173 in *Proc. 1972 Tundra Biome Symp. U.S. I.B.P. Program, Lake Wilderness Centre, Univ. Washington*, 211 p.
- BLUM, J.L., 1956. The ecology of river algae. — *Bot. Rev.*, 22: 291-331.
- BRITTON, M.E., 1957. Vegetation of the Arctic tundra. — Pages 67-130 in H.P. Hansen (eds.). *Arctic biology*. Oregon State Press, Corvallis, OR, 318 p.
- FINDENEGG, I., 1965. Relationships between standing crop and primary productivity. — Pages 271-289 in C.R. Goldman (ed.). *Primary productivity in aquatic environments*. *Memorie Ist. ital. Idrobiol.*, 18 Suppl., Univ. Cal. Press, Berkeley, 464 p.
- GRUENDLING, T.K., 1971. Ecology of the epipellic algal communities in Marion Lake, British Columbia. — *J. Phycol.*, 7: 239-249.
- HOBBIE, J.E., 1973. Arctic limnology: a review. — Pages 127-168 in M.E. Britton, (ed.). *Alaskan arctic tundra*. Arctic Inst. N. Am., Tech. Pap. no. 25, 224 p.
- HUSTEDT, F.E., 1930. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher (ed.). *Die Süßwasserflora mitteleuropas*, Heft 10. Gustav Fischer, Jena, 466 p.
- KALFF, J., 1967. Phytoplankton abundance and primary production in two arctic ponds. — *Ecology*, 48: 558-565.
- KALFF, J., 1970. Arctic lake ecosystems. — Pages 651-663 in M.W. Holgate (ed.). *Antarctic ecology*. Academic Press, N.Y., 969 p.
- MANNY, B.A., R. WETZEL & W.C. JOHNSON, 1974. Annual contribution of carbon, nitrogen and phosphate by migrant Canada geese to a hardwater lake. — *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 19: 969.
- PRESCOTT, G.W., 1963. Ecology of Alaskan freshwater algae. II. Introduction: general considerations. — *Trans. Am. microsc. Soc.*, 82: 83-98.
- ROUND, G.E. 1960. The epipellic algal flora of some Finnish lakes. — *Arch. Hydrobiol.*, 57: 161-178.
- SHEATH, R.G. & J.A. HELLEBUST, 1978. Comparison of algae in the euplankton, tychoplank-

- ton, and periphyton of a tundra pond. — *Can. J. Bot.*, 56: 1472-1483.
- SHEATH, R.G., M. MUNAWAR & J.A. HELLEBUST, 1975. Phytoplankton biomass and primary productivity during the ice-free period in a tundra pond. — Pages III/23 — III/31 in *Proc. Circumpolar Conference on Northern Ecology*. Sept. 1975, Ottawa, 101 p.
- STANLEY, D.W. & R.J. DALEY, 1976. Environmental control of primary productivity in Alaskan tundra ponds. — *Ecology*, 57: 1025-1033.
- VOLLENWEIDER, R.A., M. MUNAWAR & P. STADELMANN, 1974. A comparative review of phytoplankton and primary production in the Laurentian Great Lakes. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 739-762.
- WETZEL, R.G., 1975. *Limnology*. — W.B. Saunders, Philadelphia, PA, 743 p.



## VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ET CYCLE DE DÉVELOPPEMENT DE *LIMNODRILUS HOFFMEISTERI* CLAPARÈDE (OLIGOCHAETA : TUBIFICIDAE)

S. McMURRAY, B. VINCENT et G. VAILLANCOURT

Groupe de recherche sur les écosystèmes aquatiques (GRÉA)

Département de chimie-biologie

Université du Québec à Trois-Rivières

C.P. 500, Trois-Rivières, Québec G9A 5H7

### Résumé

La relation entre la température de l'eau et la dynamique de *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta: Tubificidae) a été étudiée pendant 19 mois dans le Saint-Laurent. Le régime thermique de ce cours d'eau est caractérisé par des gradients saisonniers très prononcés d'avril à décembre et par la présence d'une couverture de glace pendant les quatre autres mois. Les échantillons ont été prélevés dans deux populations de faible et de forte densité. Il y a toujours une période principale de reproduction au printemps mais il peut y en avoir une seconde en automne. La dynamique des deux populations diffère surtout par l'ampleur des variations saisonnières de la densité d'individus et du pourcentage de vers matures. La reproduction est liée au gradient thermique.

### Abstract

The population dynamics of *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta: Tubificidae) was studied in two sites of the St. Lawrence River in relation to temperature. The thermal regime is characterized by steep seasonal gradients from April to December and a four months ice-cover period. Specimens were collected during 19 months from two populations with low and high density. Reproductive peaks were always observed in the spring but a second reproductive period may occur in the fall. Dynamics of the two populations is quite different and reproduction seems closely related to thermal gradients.

### Introduction

*Limnodrilus hoffmeisteri* est un Tubificidae très commun et cosmopolite qui peuple une grande variété d'habitats (Brinkhurst, 1964; Brinkhurst & Jamieson, 1971). Malgré l'importance de cette espèce dans de nombreux écosystèmes aquatiques, les études sur son cycle de développement sont encore rares. Elles ont d'abord été faites dans des conditions particulières, en laboratoire (Aston, 1973), en milieu naturel perturbé par des rejets d'eau chaude (Langford & Aston, 1972) ou sans considération du régime thermique (Kennedy, 1966), et les études précises en milieu naturel et non perturbé sont plus récentes (Podubnaya, 1979; Young, 1974).

Avec le gastéropode *Bithynia tentaculata*, *L. hoffmeisteri* est l'invertébré le plus abon-

dant dans le haut-estuaire du Saint-Laurent (Vincent, 1979). Le régime thermique de l'eau y est marqué par de forts gradients thermiques saisonniers et une longue période hivernale (Vincent & Vaillancourt, 1980), et ces facteurs expliquent plusieurs particularités du cycle de développement des invertébrés benthiques lorsqu'ils sont comparés aux résultats obtenus sous des climats plus tempérés (Boag & Pearlstone, 1979; Vincent *et al.*, 1981). La même action prépondérante semblait se retrouver chez *L. hoffmeisteri* car plusieurs de nos observations ne pouvaient s'expliquer par les résultats des études déjà faites sur cette même espèce. C'est pourquoi, dans le cadre des études sur les groupements benthiques du Saint-Laurent, nous avons étudié les relations entre le cycle de développement de *L. hoffmeisteri* et le régime thermique de l'eau.

### Matériel et méthodes

La zone d'échantillonnage est située à 40 km en aval du lac Saint-Pierre, le long de la rive sud du Saint-Laurent. Nous avons conservé pour nos stations la même codification que celle d'autres travaux (Vincent & Vaillancourt, 1978). La station A4 est à 8 m de profondeur, près du chenal de navigation, en aval du delta de la rivière Bécancour; la vitesse du courant atteint 0,23 m/s pour un débit fluvial de 10 000 m<sup>3</sup>/s et le substrat est sableux et sans végétation. *L. hoffmeisteri* y représente en moyenne 80% des effectifs de la faune benthique. La station D3, plus proche du littoral que la station précédente, est à 1,3 m de profondeur et la vitesse du courant y est inférieure à 0,1 m/s; le substrat est vaso-sableux et colonisé uniquement par *Vallisneria americana*. La communauté benthique y est plus diversifiée et *L. hoffmeisteri* ne représente en moyenne que 22% des effectifs.

À l'aide d'une benne Petersen (0,1 m<sup>2</sup> de surface), nous avons prélevé à chaque station trois échantillons dont les sédiments ont été lavés sur un tamis de 0,48 mm de vide de maille. Nous avons échantillonné la station D3 chaque mois, de mai 1978 à novembre 1979, et la station A4 en juin et août 1978, puis chaque mois, de mai à novembre 1979. Les vers ont été préservés dans une solution de formaldéhyde à 5% puis traités au lactophénol d'Amman (Hiltunen, 1973). Ils ont été ensuite tous comptés et les déterminations ont été faites sur des sous-échantillons d'au moins 180 individus par station et par mois, lorsque le nombre de vers le permettait. Ces vers ont été identifiés à l'espèce, et pour *L. hoffmeisteri*, séparés en deux classes: matures et immatures. La classe des matures est constituée de vers qui ont des plaques péniales (dont la reproduction est imminente) et des vers qui ont des spermatophores (pour lesquels la copulation a déjà eu lieu). La classe des immatures inclut tous les autres spécimens. Aucune des autres espèces de Tubificidae rencontrées occasionnellement à ces deux stations (*Aulodrilus americanus*, *A. plurisetus*, *Ilyodrilus templetoni*, *Limnodrilus udekemianus*, *Peloscia ferox*, *P. multisetosus*, *Potamothenix vejovskyi*, *Rhyacodrilus coccineus*, *R. sodalis*, *Tubifex ignotus*, *T. tubifex*) ne pouvait être confondue avec *L. hoffmeisteri*.

La température a été mesurée en continu avec des thermo-enregistreurs au canal

d'entrée de la centrale électronucléaire de Gentilly, situé à mi-distance entre les stations A4 et D3.

### Résultats et discussion

#### RÉGIME THERMIQUE

La figure 1 présente les moyennes journalières de température pour les mois d'avril à novembre des années 1978 à 1979. Pendant la période d'hiver, non illustrée, la température se maintenait entre 1 et 2°C. Le réchauffement printanier de l'eau commence le 15 avril en 1978 et le 1<sup>er</sup> avril en 1979: ce décalage entre les deux années persistera jusqu'à la fin du mois de juin. Durant les 45 premiers jours de ces deux phases de réchauffement, la température de l'eau monte d'environ 17°C à un taux de 0,38°C/d; il ne sera plus que de 0,14°C/d jusqu'à la fin juillet. Après les maxima de la fin juillet-début août (24°C), la baisse des températures, très irrégulière en 1979, se fait à un taux d'environ 0,22°C/d jusqu'au mois de décembre (Vincent & Vaillancourt, 1980).

#### CYCLE DE DÉVELOPPEMENT

Il n'y a pas de corrélation significative entre les nombres totaux de *L. hoffmeisteri* ( $r = 0,25$ ;  $P > 5\%$ ) aux deux stations, mais il existe une corrélation significative entre les nombres d'individus matures ( $r = 0,81$ ;  $P \leq 1\%$ ).

À la station D3 (fig. 2), il y a trois maximums d'abondance du nombre de vers matures (juin 1978, mai 1979, novembre 1979) qui correspondent, si l'on excepte le mois d'avril 1979, aux fréquences maximales de cette classe de vers. Les effectifs de la population atteignent généralement leurs plus fortes valeurs au moment de la plus grande activité reproductrice. Cependant, on observe aussi un maximum très prononcé en août 1978 et un autre, beaucoup moins marqué en décembre 1978. Il y a peu d'individus matures de septembre 1978 à mars 1979, ainsi qu'en août 1979, et nous n'en avons trouvé aucun en septembre et octobre 1979.

À la station A4, les principales périodes de maturation correspondent à celles observées en D3 (juin 1978, mai et début novembre 1979); à ces trois périodes, il y avait respectivement 51%, 43% et 23% des individus qui étaient matures. Les effectifs



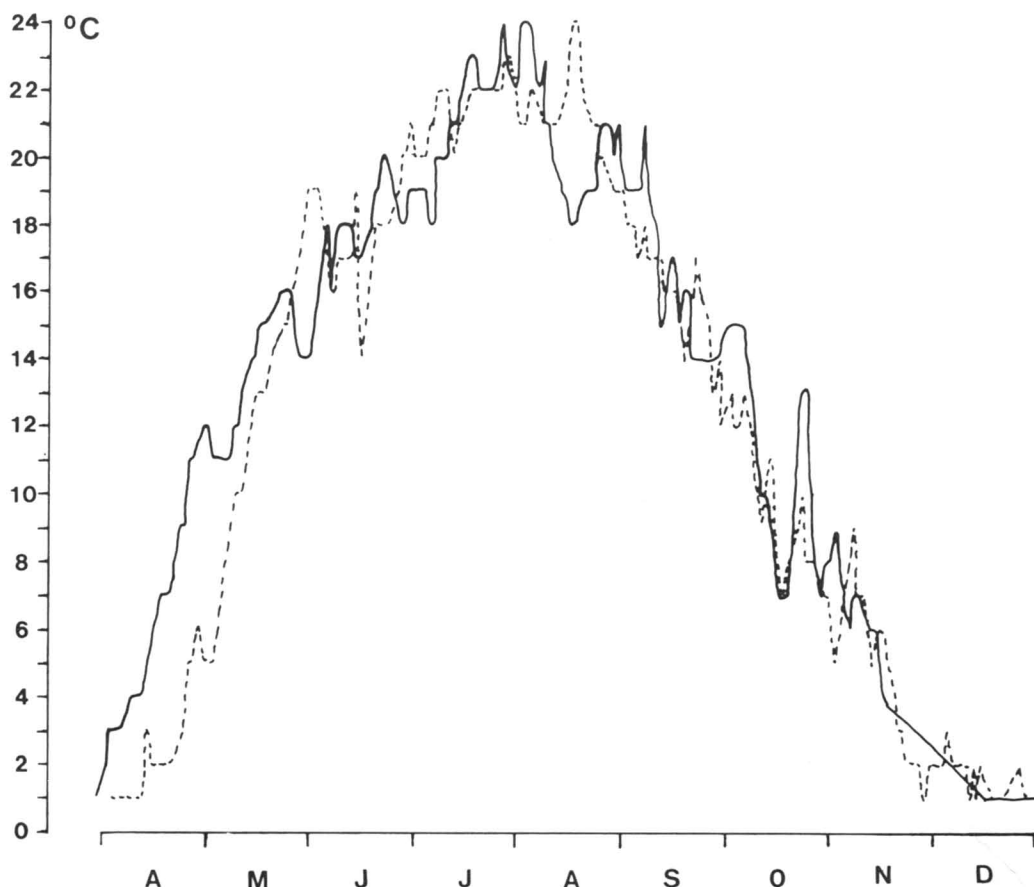


Figure 1. Régime thermique de l'eau à la centrale nucléaire de Gentilly en 1978 (trait pointillé) et en 1979 (trait plein).

varient moins à cette station pendant la période post-reproductrice de mai 1979 et ils se maintiennent entre 11 149 ind./m<sup>2</sup> et 15 907 ind./m<sup>2</sup> de juillet à novembre 1979. Il y a cependant en mai 1979 une population très importante de 46 940 ind./m<sup>2</sup>. Le pourcentage d'individus matures varie aussi beaucoup moins ici qu'en D3.

Nos résultats montrent qu'il y a toujours une maturation et un recrutement printanier important. Cependant, on note qu'il peut y avoir une grande différence d'une année à l'autre pour une même population, puisqu'en D3 et A4 la maturation et le recrutement ont lieu en juin pour 1978 et en mai pour 1979; il y a aussi en D3 une remontée des effectifs de juillet à août 1978 et il y a une période de maturation à l'automne 1979; ce sont deux phénomènes propres à chacune des deux années. Des différences existent aussi entre les deux stations: la

maturation d'automne 1979 n'est doublée d'une augmentation importante des effectifs de la population qu'en D3 et nous n'avons trouvé des vers matures en août et septembre 1979 qu'en A4.

D'une année à l'autre, il y a un décalage de périodes printanières de recrutement et de maturation qu'on peut expliquer par les variations du régime thermique. En effet, le réchauffement plus tardif des eaux en 1978 (fig. 1) peut avoir provoqué ce retard dans les éclosions et la maturation des gonades. Malgré ce décalage, le recrutement et la maturation restent synchronisés. L'augmentation rapide des effectifs de la population ne peut s'expliquer que par une éclosion massive, et le grand nombre de vers matures, qui ne peut provenir des populations hivernales très peu abondantes, implique la maturation des mêmes vers éclos au printemps. Les recrues les plus précoces de la fin de

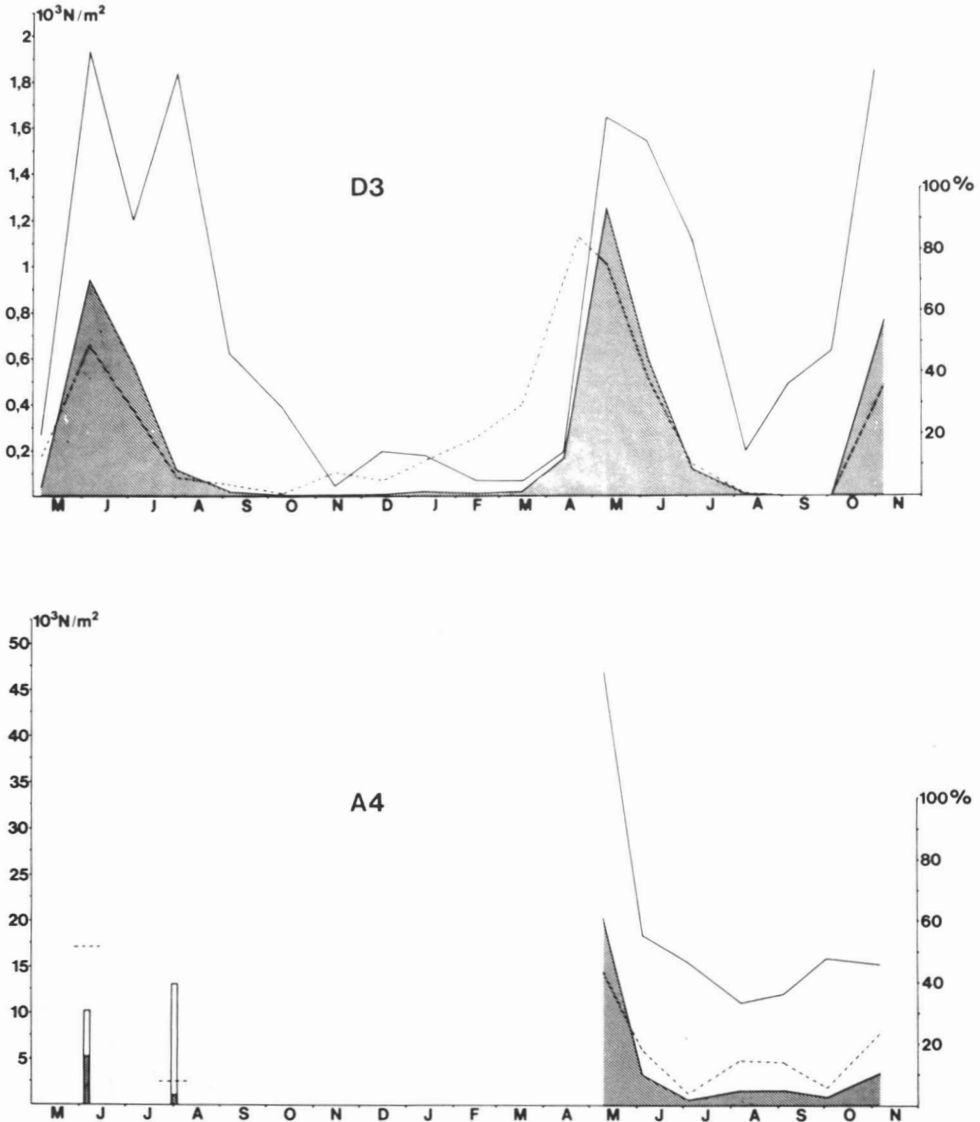


Figure 2. Effectifs des populations (trait plein), effectifs des vers matures (zone hachurée) et pourcentages de vers matures aux stations A4 et D3.

mars 1979 devraient donc être en période de maturation au début de mai, alors que Podubnaya (1979) a noté que des populations de *L. hoffmeisteri*, de densité inférieure à 25 000 ind./m<sup>2</sup>, n'atteignent leur maturité à la fin de leur second mois de vie, qu'à des températures de 18-20°C. Pour sa part, Aston (1973) a observé expérimentalement, qu'une nouvelle ponte de *L. hoffmeisteri* ne peut éclore et parvenir à maturité sexuelle en cinq semaines, que si la température maintenue constante est d'au moins

25°C. En 1979, la nouvelle génération parvient à maturation entre la mi-mars et la mi-mai alors que la température s'est maintenue à 1 ou 2°C jusqu'à la fin mars pour augmenter ensuite régulièrement jusqu'à 15°C à la mi-mai (gradient de 15°C/45 jours).

La remontée des effectifs en août 1978 correspond davantage à ce que l'on connaît déjà de l'évolution des populations d'oligochètes et elle s'explique par des éclosions nombreuses et simultanées. Les diminutions

de la population en juillet 1978 (station D3) et en juin et juillet 1979 (stations D3 et A4) seraient surtout attribuables à la mort des géniteurs (Kennedy, 1966) et à une intense prédation (Popchenko, 1971; Young, 1974). L'absence en été 1979 d'une nouvelle augmentation des effectifs après la période de reproduction printanière est remarquable et elle ne peut s'expliquer que par des variations importantes de la mortalité et de la fécondité d'une année à l'autre. Le fait que ce phénomène s'observe aux deux stations indique que la prédation n'est pas un facteur déterminant pour expliquer cette différence entre les deux années puisque les prédateurs, et en particulier les sangsues, sont nombreux en D3 alors qu'ils sont totalement absents de la station A4 où la faune benthique est presque uniquement composée de Tubificidae.

La période de maturation d'octobre-novembre 1979, plus marquée et doublée d'une augmentation des effectifs en D3, est aussi très inhabituelle par rapport à l'année précédente. L'examen du régime thermique à cette époque signale une brusque élévation de température à la fin d'octobre 1979 (fig. 1) et il est probable que ce bref réchauffement des eaux ait pu suffire à provoquer une nouvelle période de maturation et de recrutement. L'augmentation plus forte à cette époque de l'effectif de la population et du nombre de vers matures en D3 confirme les différences observées par Podubnaya (1979) entre les populations de haute et de basse densité.

Cette étude montre que les exigences thermiques attribuées à *L. hoffmeisteri* par la plupart des auteurs ne permettent pas d'interpréter le cycle de développement de cette espèce dans le Saint-Laurent. Ces exigences paraissent très strictes lorsqu'on analyse le régime thermique du Saint-Laurent et elles semblent peu réalistes lorsqu'on considère le succès de cette espèce ubiquiste. Le recrutement et la maturation rapides de *L. hoffmeisteri* à des températures très basses et la deuxième période de recrutement et maturation de l'automne 1979, après un réchauffement inhabituel des eaux, nous ont amené à considérer le gradient thermique comme un stimulus très important. Contrairement aux approches traditionnelles qui n'envisagent le cycle vital de *L. hoffmeisteri* qu'entre des limites de température précises, nous croyons que l'importance du gradient thermique, déjà mise en évidence dans le Saint-Laurent pour le gasté-

ropode *B. tentaculata* (Vincent et al., 1981) a été sous-estimée.

### Remerciements

Les auteurs remercient l'Hydro-Québec, l'Énergie atomique du Canada Limitée, le ministère de l'Éducation du Québec et l'Université du Québec à Trois-Rivières qui ont assuré le financement de ce travail.

### Références

- ASTON, R.J., 1973. Field and experimental studies on the effects of a power station effluent on Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). — *Hydrobiologia*, 42: 225-242.
- BOAG, D.A. & P.S. PEARLSTONE, 1979. On the life cycle of *Lymnaea stagnalis* (Pulmonata: Gastropoda) in southwestern Alberta. — *Can. J. Zool.*, 57: 353-362.
- BRINKHURST, R.O., 1964. Observations on the biology of the Tubificidae (Oligochaeta). — *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 15: 855-863.
- BRINKHURST, R.O. & B.G.M. JAMIESON, 1971. Aquatic oligochaeta of the world. — University of Toronto Press, 860 p.
- HILTUNEN, J.K., 1973. Distribution of oligochaetes in western Lake Erie, 1961. — *Limnol. Oceanogr.*, 14: 260-264.
- KENNEDY, C.R., 1966. The life history of *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap. (Oligochaeta: Tubificidae) and its adaptive significance. — *Oikos*, 17: 158-168.
- LANGFORD, T.E. & R.J. ASTON, 1972. The ecology of some British rivers in relation to warm water discharges from power stations. — *Proc. R. Soc., Series B*, 180: 407-419.
- PODUBNAYA, T.L., 1979. Life cycles of mass species of Tubificidae (Oligochaeta). — Pages 175-184 in R.O. Brinkhurst & D.G. Cook (eds.). *Aquatic oligochaete biology*. Plenum Press, New York, 517 p.
- POPCHENKO, V.I., 1971. Consumption of oligochaeta by fishes and invertebrates. — *Vop. Ikhtiol.*, 11: 96-102.
- VINCENT, B., 1979. Étude du benthos d'eau douce dans le haut-estuaire du Saint-Laurent. — *Can. J. Zool.*, 57: 2171-2183.
- VINCENT, B. & G. VAILLANCOURT, 1978. Les groupements benthiques du fleuve Saint-Laurent près des centrales nucléaires de Gentilly (Québec). — *Can. J. Zool.*, 56: 1585-1592.
- VINCENT, B. & G. VAILLANCOURT, 1980. Régime thermique de l'eau de la zone littorale dans le haut-estuaire du Saint-Laurent. — *Eau du Québec*, 13: 120-123.
- VINCENT, B., G. VAILLANCOURT & M. HARVEY, 1981. Cycle de développement, croissance,

effectifs, biomasse et production de *Bithynia tentaculata* L. (Gastropoda: Prosobranchia) dans le Saint-Laurent (Québec). — Can. J. Zool., 59: 1237-1250.

YOUNG, J.O., 1974. Life cycle of some invertebrate taxa in a small pond together with changes in their numbers over a period of three years. — Hydrobiologia, 45: 63-90.

## DISPERSION POST-GLACIAIRE DE L'OMBLE CHEVALIER D'EAU DOUCE (*SALVELINUS ALPINUS*) DANS LE QUÉBEC MÉRIDIONAL

P. DUMONT

Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune  
Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec  
13 rue Buteau, Hull, Québec J8Z 1V4

### Résumé

La distribution connue de l'omble chevalier dans le sud du Québec se limite à moins d'une centaine de plans d'eau; la majorité de ces lacs sont de faible superficie. Les populations présentes sont probablement des vestiges des populations anadromes qui vivaient dans la mer Champlain et l'océan Atlantique, il y a environ 11 900 ans. La dispersion se serait faite au cours des premières phases de l'invasion marine qui suivit le retrait des glaciers. Des facteurs d'ordre écologique (modification du milieu, compétition interspécifique) ont contribué à restreindre sa distribution depuis la dernière glaciation. À cause de l'intervention humaine (introduction d'espèces compétitrices, pollution), l'espèce peut être considérée comme marginale ou éteinte dans plusieurs des plans d'eau où sa présence a déjà été signalée.

### Abstract

The known distribution of arctic charr in southern Québec is limited to less than a hundred lakes; most of them are of small area. These populations are probably vestiges of the anadromous populations which lived in the Champlain sea and the Atlantic ocean, approximately 11,900 years ago. Their dispersion would have taken place during the first phases of the marine invasion that followed the retreat of the glaciers. Ecological factors (changes in the environment, interspecific competition) have contributed to the restriction of its distribution. Because of human intervention (introduction of competing species, pollution), the species can be considered marginal in its existence or even completely eradicated in many of the water bodies where its presence had once been recorded.

### Introduction

De tous les poissons d'eau douce, l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) est, dans l'hémisphère boréal, l'espèce qui atteint les latitudes les plus élevées. Sa distribution est circumpolaire. L'espèce fréquente les eaux littorales marines, les lacs et les rivières du nord de l'Amérique du Nord, de l'Eurasie, de l'Islande, du Groënland et de nombreuses îles arctiques. L'omble chevalier peut former des populations anadromes, anadromes facultatives ou cantonnées en eau douce (Scott & Crossman, 1974). En Amérique, l'omble chevalier est généralement remplacé par l'omble de fontaine (*S. fontinalis*) au sud du 58° N. (Saunders & Power, 1969), mais il existe des populations relictuelles isolées dans certains lacs du Nouveau-Brunswick (trois lacs, d'après Scott & Cross-

man, 1974), de l'île de Terre-Neuve (13 lacs, d'après Scott & Crossman, 1964), du Maine (11 lacs, d'après Kircheis, 1980), du New-Hampshire (deux lacs, d'après Scarola, 1973) et du sud du Québec.

La présence de l'omble chevalier dans le Québec méridional est connue depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Garman, 1893). Il fut alors identifié comme appartenant à une espèce à part, *S. marstoni*, communément appelée truite rouge du Québec. Ce n'est en fait que récemment que *S. marstoni* a été inclue au sein du complexe spécifique *S. alpinus* (McPhail, 1961; Saunders & McKenzie, 1971; Qadri, 1974; Behnke, 1980; Kornfield *et al.*, 1981).

L'espèce n'a reçu que peu d'attention dans la partie sud de son aire de distribution en Amérique du Nord. Nous avons voulu,

dans le présent article, faire le point sur les connaissances acquises concernant la distribution des populations méridionales au Québec.

### Méthodes

Les données utilisées proviennent principalement de mentions de captures faites par le Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, actuellement rattaché au ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, ou par des pêcheurs sportifs et dûment identifiées par des personnes compétentes. La plupart de ces mentions, colligées au cours des ans par le laboratoire du Service de la recherche biologique du même ministère, sont inédites. Elles proviennent de travaux d'inventaires ichtyologiques ou de recensements de pêche effectués sur le territoire non organisé en marge des zones habitées ou dans les régions touchées par les grands travaux hydro-électriques ainsi qu'au sein du vaste réseau (150 000 km<sup>2</sup>) de parcs, réserves fauniques, zones d'exploitation contrôlées et pourvoiries qui bordent les zones habitées. Ces travaux permettent une connaissance de la faune ichtyologique de plus de 10 000 lacs. Cette connaissance n'est le plus souvent que partielle cependant, puisque l'attention a généralement porté sur les espèces d'intérêt sportif.

Dans certains cas, la mention provient de travaux publiés. Ce sont ceux de Garman (1893), Dymond (1939), Legendre (1954), Vladykov (1957), Saunders & Power (1969), Power *et al.* (1973), Qadri (1974) ainsi que Kornfield *et al.* (1981).

Les données de superficie et d'altitude présentées dans ce travail ont été mesurées sur des cartes topographiques à l'échelle 1 : 50 000 ou 1 : 250 000.

### Résultats

Dans le sud du Québec, la présence de l'omble chevalier a été notée dans au moins 88 lacs. L'espèce a de plus été introduite dans au moins trois plans d'eau (fig. 1). Ceux qui abritent des populations indigènes sont majoritairement localisés sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, à même le Bouclier précambrien, de la rivière Gatineau à la rivière Watshishou, mais on en trouve aussi sur la rive sud, de la rivière Ouelle à la Grande rivière Cascapedia. Tous ces plans

d'eau appartiennent au bassin de l'Atlantique. Les lacs sont situés à des altitudes variant entre 60 et 850 m, mais la plupart (environ 80%) sont à une altitude inférieure à 600 m (fig. 2). Règle générale, dans une région donnée, tous les lacs renfermant de l'omble chevalier sont à des altitudes semblables.

Ces lacs cumulent une superficie totale de 442 km<sup>2</sup>. Le plus petit mesure moins de 0,1 km<sup>2</sup> alors que le plus vaste mesure près de 109 km<sup>2</sup>. La plupart sont cependant de petite superficie : près de 50% ne dépassent pas 1 km<sup>2</sup> et moins de 8% dépassent 10 km<sup>2</sup> (tableau 1). Ces grands lacs sont tous situés en basse altitude, sur la côte nord-est de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent.

### Discussion

La liste de distribution colligée pour la réalisation de ce travail ne doit pas être considérée comme exhaustive. Les travaux qui ont servi à l'établir n'ont pas été faits dans ce but. De plus, ils ont été effectués avec plus ou moins d'intensité selon les régions ; ils ont surtout été concentrés dans la partie du Québec qui s'étend de sa frontière occidentale à la rivière Saguenay, ainsi que dans la péninsule gaspésienne. L'espèce est peu connue, difficile à distinguer de l'omble de fontaine, rarement capturée à l'aide des techniques de pêche conventionnelles et éparpillée sur un vaste territoire dont une partie, la rive nord du fleuve Saint-Laurent à l'est de la rivière Saguenay, est relativement peu explorée. Il est donc permis de croire que d'autres lacs en contiennent.

Cependant, le nombre de lacs qui ont fait l'objet d'un inventaire ou d'un recensement est très élevé ; même en stratifiant selon les régions, ils constituent un échantillon acceptable de l'ensemble des lacs qui s'y trouvent. De plus, étant donné que la zone inventoriée en dépasse largement les limites, les données recueillies permettent une détermination précise de l'aire de distribution de l'omble chevalier dans le sud du Québec.

La distribution de l'omble chevalier dans le Québec méridional constitue une intéressante curiosité du point de vue paléogéographique. Elle est reliée aux récentes invasions marines au moment du retrait des glaciers, il y a environ 11 900 ans. En fait, tous les plans d'eau où l'espèce est présente sont situés en marge ou à l'intérieur des

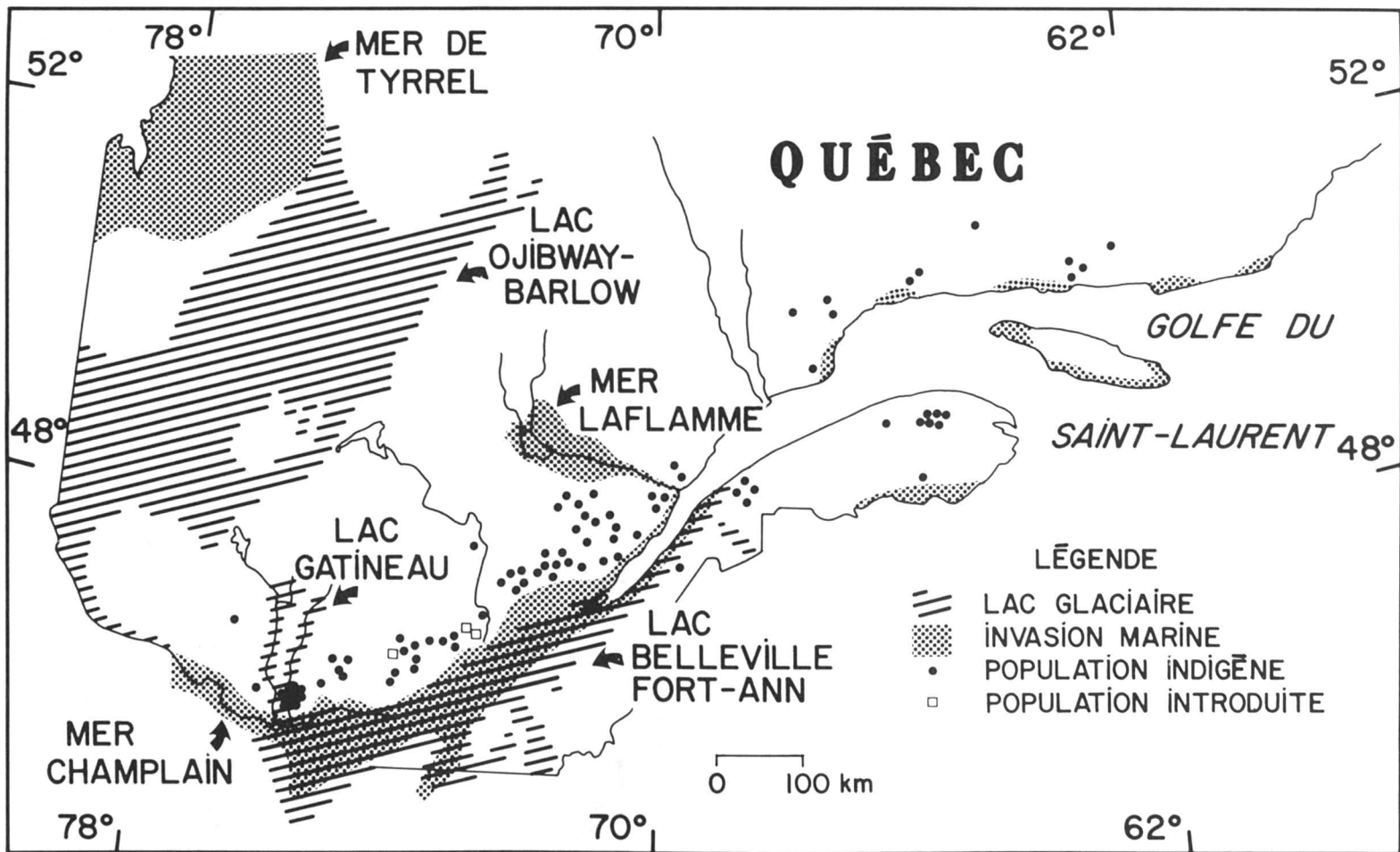


Figure 1. Distribution de l'omble chevalier d'eau douce dans le sud du Québec. Les contours des zones d'invasion marine et des grands lacs glaciaires ont été tracés d'après Carter *et al.* (1980). Le lac glaciaire Belleville-Fort Ann occupait les basses-terres du Saint-Laurent juste avant l'invasion de la mer Champlain.

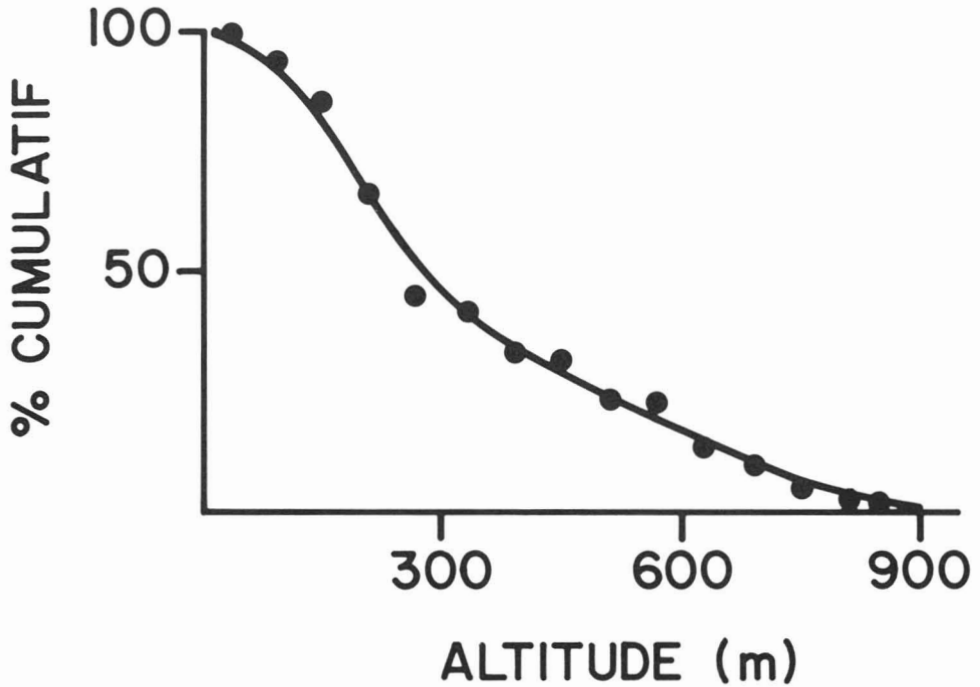


Figure 2. Distribution de fréquence de l'altitude approximative (par classe de 60 m) des plans d'eau renfermant des populations indigènes. La courbe représente le pourcentage cumulatif des plans d'eau situés au-dessus d'une altitude donnée.

TABLEAU I

Distribution de fréquence par classe de superficie des lacs où la présence d'omble chevalier a été notée

Classe de superficie (km <sup>2</sup> )	Nombre	%
0 - 1,01	45	51,1
1,01 - 2,00	15	17,1
2,01 - 3,00	6	6,8
3,01 - 4,00	4	4,6
4,01 - 5,00	1	1,1
5,01-10,00	10	11,1
10,01 et plus	7	8,0
Total	88	

limites extrêmes qu'occupa la mer à cette époque à environ 210 m au-dessus du niveau actuel.

Les conditions qui prévalaient alors en bordure de la calotte glaciaire s'apparentaient à celles de l'Arctique supérieur. Les températures estivales se situaient en deçà de 5°C et la salinité de surface se maintenait au-delà de 25‰. Le voisinage du front

glaciaire entretenait probablement en surface une couche d'eau saumâtre le long des côtes durant l'été. Les populations d'omble chevalier d'eau douce du sud du Québec sont considérées comme des vestiges des populations anadromes qui vivaient alors dans la mer Champlain et l'océan Atlantique (Dadswell, sous presse; Power *et al.*, 1973). Des phénomènes semblables paraissent expliquer la distribution de l'espèce dans certains plans d'eau de l'île de Terre-Neuve (Rombough *et al.*, 1978) et de la Nouvelle-Angleterre, (Brooks & Devey, 1963; Everhart & Waters, 1965). L'absence de l'omble chevalier d'eau douce dans le sud de l'Ontario est surprenante. À l'époque où l'espèce effectua sa dispersion, les apports en eau douce provenaient principalement de la fonte de la calotte glaciaire. Cette dernière n'occupait alors que la rive nord de la mer Champlain. Les populations anadromes vivant actuellement dans l'Arctique ne s'éloignent que très peu des côtes au cours de leur séjour estival en eau salée (Johnson, 1980). Il est possible que les fortes salinités aient restreint les mouvements de l'espèce au sein de la mer Champlain et qu'elles aient limité sa dispersion vers



l'ouest et le sud. La salinité ne peut cependant être considérée comme le seul facteur responsable de l'absence de l'omble chevalier en Ontario.

L'omble chevalier est sans doute l'une des premières espèces de poisson à avoir envahi les plans d'eau créés par la fonte des glaciers au cours des premières phases de l'invasion marine. De toutes les espèces dulcicoles vivant actuellement en Amérique du Nord, c'est celle qui est le mieux adaptée à la vie en eau très froide (Johnson, 1980). De plus, sa présence à des altitudes supérieures à 600 m au sud de la rivière Saguenay suggère que l'invasion s'est produite avant les premiers mouvements isostatiques qui suivirent le retrait des glaciers. Dans toute son aire de répartition septentrionale en Amérique du Nord, l'omble chevalier anadrome ne s'aventure que très peu à l'intérieur des terres (Johnson, 1980); la capacité de l'espèce à migrer à contre-courant paraît donc assez limitée.

La distribution de l'omble chevalier dans le centre-est du continent est beaucoup moins étendue que celle de nombreuses autres espèces de poisson qui ont utilisé les grands lacs formés par le retrait graduel des glaciers (fig. 1) comme voie de dispersion (Dadswell, 1972; 1974). Il en est ainsi des espèces de poissons, toutes anadromes, qui, d'après Dadswell (sous presse), n'originent que du refuge atlantique. Les autres espèces ont entrepris leur dispersion à partir du refuge mississipien qui fut bien relié au réseau des grands lacs glaciaires alors que la liaison entre la mer Champlain et le lac Ojibway-Barlow ne fut que de très brève durée.

Des facteurs d'ordre écologique ont restreint la distribution de l'omble chevalier depuis la dernière glaciation. L'espèce est exigeante; elle préfère les eaux froides et bien oxygénées (Johnson, 1980; Kircheis, 1980). Le réchauffement graduel du climat a certes contribué à l'éliminer des plans d'eau peu profonds. L'implantation d'espèces compétitrices a pu constituer un autre facteur limitatif important. Ainsi, dans le sud du Québec, l'omble chevalier semble exclu des plans d'eau fréquentés par le touladi (*S. namaycush*). Sa dispersion est d'ailleurs beaucoup plus étendue dans les secteurs où le touladi est rare ou absent (entre les rivières Saguenay et Saint-Maurice ou à l'extrémité de la péninsule gaspésienne, par exemple). Le touladi, moins tolérant à

la salinité, aurait amorcé sa dispersion plus tardivement que l'omble chevalier, à partir du refuge mississipien (Dadswell, sous presse). Dans les régions arctiques et subarctiques, les deux espèces cohabitent dans certains grands plans d'eau (Benoit & Power, 1981; Johnson, 1980). Par contre, en climat tempéré, les deux espèces paraissent fréquenter des habitats très semblables; le touladi atteignant des tailles de beaucoup supérieures à l'omble chevalier d'eau douce (dans le sud du Québec, le plus gros spécimen connu fut capturé au lac Bataille, il pesait 3,5 kg), les effets cumulés de la compétition et de la prédation s'exercèrent probablement à l'avantage du premier. Dans les régions où les deux espèces sont présentes, l'omble chevalier d'eau douce est confiné aux plus petits plans d'eau seulement.

Si l'espèce a pu se maintenir au cours des millénaires dans une centaine de lacs du sud-est de l'Amérique du Nord, l'optimisme est loin d'être de rigueur pour l'avenir. L'aire de distribution des populations méridionales se confond en grande partie avec une zone où l'intervention humaine est importante. L'introduction d'espèces compétitrices, l'eutrophisation accélérée des lacs et l'acidification de l'eau menacent plusieurs populations. Des travaux récents révèlent d'ailleurs qu'elle peut être considérée comme marginale ou peut-être même éteinte dans plusieurs des plans d'eau où sa présence a déjà été signalée dans le sud-ouest du Québec (Dumont & Monette, 1979) et en Nouvelle-Angleterre (Everhart, 1966; Behnke, 1972; Scarola, 1973; Kircheis, 1980).

### Remerciements

Je tiens à exprimer mes remerciements à M. Vianney Legendre qui a inspiré la préparation de ce travail et fourni une large part des informations nécessaires à sa réalisation. M. Étienne Corbeil et M. Marc Dubreuil ont fait une critique du manuscrit initial. Je tiens aussi à souligner la contribution de Maurice Monette pour la mise à jour des données de distribution et de Jean-René Moreau pour la conception des figures.

### Références

- BEHNKE, R.J., 1972. The systematics of salmonid fishes of recently glaciated lakes. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 29: 629-671.
- BEHNKE, R.J., 1980. A systematic review of the genus *Salvelinus*. — Pages 441-481 in E.K.

- Balon (ed.). Charrs. Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. *Perspect. Vertebr. Sci.*, no. 1, 930 p.
- BENOÎT, J. & G. POWER, 1981. Biologie de deux populations arctiques de touladi, *Salvelinus namaycush*, de la région du lac Minto, Nouveau-Québec. — *Naturaliste can.*, 108 : 1-15.
- BROOKS, J. L. & E. S. DEEVEY, 1963. New England. — Pages 117-162 in D. G. Frey (ed.). *Limnology in North America*. The University of Wisconsin Press, Madison, 734 p.
- CARTER, J. C. H., M. J. DADSWELL, J. C. ROLL & W. G. SPRULES, 1980. Distribution and zoogeography of planktonic crustaceans and dipterans in glaciated eastern North America. — *Can. J. Zool.*, 58 : 1355-1387.
- DADSWELL, M. J., 1972. Postglacial dispersal of four deepwater fishes on the basis of new distribution records in eastern Ontario and western Québec. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 29 : 545-553.
- DADSWELL, M. J., 1974. Distribution, ecology and postglacial dispersal of certain crustaceans and fishes in eastern North America. — *Natn. Mus. Can. Publ. Zool.*, no. 11, 108 p.
- DADSWELL, M. J. (sous presse). Postglacial dispersal of freshwater fishes in Québec. In C. H. Martin (ed.). *Entrance of early man to Québec*. 11<sup>th</sup> A. Meeting Can. Archeol. Assoc.
- DUMONT, P. & M. MONETTE, 1979. Distribution, écologie et statut de l'omble chevalier d'eau douce (*Salvelinus alpinus* Linnaeus) dans l'Ontario québécois. — Rapport non publié. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Hull, Québec, 35 p.
- DYMOND, J. R., 1939. The fishes of the Ottawa region. — *Contr. R. Ont. Mus. Zool.*, no. 15, 43 p.
- EVERHART, W. H., 1966. *Fishes of Maine* (3<sup>rd</sup> ed.). — Maine Department of Inland Fisheries and Game, 96 p.
- EVERHART, W. H. & C. A. WATERS, 1965. Life history of blue back trout (arctic char, *Salvelinus alpinus* Linnaeus) in Maine. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 94 : 393-397.
- GARMAN, S., 1893. The Lac de Marbre Trout, a new species. — *Science*, 22 : 23.
- JOHNSON, L., 1980. The arctic charr, *Salvelinus alpinus*. — Pages 15-98 in E. K. Balon (ed.). Charrs. Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. *Perspect. Vertebr. Sci.*, no. 1, 930 p.
- KIRCHEIS, F. W., 1980. The landlocked charrs of Maine: the sunapee and the blueback. — Pages 749-755 in E. K. Balon (ed.). Charrs. Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. *Perspect. Vertebr. Sci.*, no. 1, 930 p.
- KORNFIELD, I., K. F. BELAND, J. R. MORNING & F. W. KIRCHEIS, 1981. Genetic similarity among endemic arctic char (*Salvelinus alpinus*) and implications for their management. — *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38 : 32-39.
- LEGENDRE, V., 1954. Les poissons d'eau douce. Tome 1. Clef des poissons de pêche sportive et commerciale de la province de Québec. 2<sup>e</sup> éd. — Soc. can. d'Écol., Montréal, 180 p.
- MCPHAIL, J. D., 1961. A systematic study of the *Salvelinus alpinus* complex in North America — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 18 : 793-814.
- POWER, G., G. F. POPE & B. W. COAD, 1973. Postglacial colonization of the Matamek River, Québec, by fishes. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30 : 1586-1589.
- QADRI, S. U., 1974. Taxonomic status of the *Salvelinus alpinus* complex. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31 : 1355-1361.
- ROMBOUGH, P. J., S. E. HARBOUR & J. J. KERES, 1978. Life history and taxonomic status of an isolated population of arctic char, *Salvelinus alpinus*, from Gros Morne National Park, Newfoundland. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35 : 1537-1541.
- SAUNDERS, L. H. & G. POWER, 1969. The arctic char, *Salvelinus alpinus* Linnaeus, of Matamek Lake, Québec. — *Naturaliste can.*, 96 : 919-934.
- SAUNDERS, L. H. & J. A. MCKENZIE, 1971. Comparative electrophoresis of arctic char. — *Comp. Biochem. Physiol.*, 38B : 487-492.
- SCAROLA, J. E., 1973. Freshwater fishes of New Hampshire. — N.H. Fish and Game Dept., 131 p.
- SCOTT, W. B. & E. J. CROSSMAN, 1964. Fishes occurring in the fresh waters of insular Newfoundland. — *Contr. R. Ont. Mus. Zool.*, 58 : 124.
- SCOTT, W. B. & E. J. CROSSMAN, 1974. Poissons d'eau douce du Canada. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, no. 184, 1012 p.
- VLADYKOV, V. D., 1957. Les formes locales de la truite rouge du Québec (*Salvelinus marstoni*). — *Naturaliste can.*, 84 : 233-248.

## ÉTUDE MONOGRAPHIQUE DU GENRE *SKELETOCUTIS* (POLYPORACEAE)

A. DAVID

Laboratoire de mycologie associé au C.N.R.S.  
LA 44, Université Claude Bernard (LYON I)  
43 boulevard du 11 novembre 1918  
69622 Villeurbanne-Cedex, France

### Résumé

Quinze espèces de *Skeletocutis* sensu Keller sont étudiées, dont six sont nouvelles pour la science: *Skeletocutis albocremaea*, *carneogrisea*, *kuehneri*, *portcrosensis*, *papyracea* et *subphaerospora*. Toutes ces espèces sont extrêmement affines et la plupart cumulent, outre la pourriture blanche et la tétrapolarité, de nombreux caractères qui sont particulièrement distinctifs: cystidioles ventrues et mucronées ou fusiformes, hyphes génératrices de la marge des dissépiments incrustées, germinations et mycéliums monospermes cénocytiques. Sont proposées une nouvelle définition du genre *Skeletocutis* ainsi qu'une nouvelle combinaison: *Skeletocutis azorica* (Reid) David.

### Abstract

Fifteen species of *Skeletocutis* sensu Keller are studied of which six are new: *Skeletocutis albocremaea*, *carneogrisea*, *kuehneri*, *portcrosensis*, *papyracea* and *subphaerospora*. To me the reciprocal affinities of these species are indisputable. They share several very different characteristics: presence of cystidioles, special incrustations of hyphae, cenocytic germination and monosperme mycelium, sweet-smelling mycelium, tetrapolarity, white rot. A new definition of the genus *Skeletocutis*, and a new combination are proposed: *Skeletocutis azorica* (Reid) David.

### Introduction

En 1958, Kotlaba & Pouzar créent un genre *Skeletocutis* pour *Gloeoporus amorphus* qui diffère des autres *Gloeoporus* par son dimitisme. Ce genre *Skeletocutis* resta monospécifique jusqu'à ce que Keller (1979) y transfère toutes les espèces groupées dans le genre *Incrustoporia* Domanski 1963. En effet, étudiant au microscope à balayage les incrustations hyphales présentes à la marge des dissépiments, il reconnut que celles de *S. amorphus* ne diffèrent pas de celles observées dans les espèces d'*Incrustoporia*, d'où les nouvelles combinaisons: *Skeletocutis alutacea* (Lowe), *Skeletocutis nivea* (Jungh.), *Skeletocutis percanida* (Malençon & Bert.) *Skeletocutis stellae* (Pilát), *Skeletocutis subincarnata* (Peck) et *Skeletocutis tschulymica* (Pilát). On peut dans le cas présent regretter que le nom de «*Skeletocutis*» très explicite pour *Skeletocutis amorphus* le soit beaucoup moins pour certaines espèces fragiles et friables regroupées dans le même genre.

Dans la description du genre *Incrustoporia* donnée par Domanski (1963), nous relevons les caractéristiques suivantes: champignons à pourriture blanche, subiculum blanc, mince, souple-coriace, finalement dur, pores très petits, système d'hyphes dimitique, hyphes génératrices incrustées à la marge des dissépiments, hyménium avec cystidioles fusiformes, spores petites. Deux de ces caractères sont absents de la description originale du genre *Skeletocutis* bien que présents en fait dans le carpophore de *Skeletocutis amorphus*: ce sont les cystidioles fusiformes de l'hyménium et la présence non constante d'hyphes incrustées à la marge des dissépiments. Si les nouvelles propositions de Keller paraissent fondées, il faut définir à nouveau le genre *Skeletocutis*.

Le but de ce travail est de rechercher par l'étude des caractères microscopiques des mycéliums et des carpophores, si le genre *Skeletocutis* est homogène, autrement dit si les espèces que nous y plaçons pré-

sentent en commun d'autres particularités que les incrustations caractéristiques.

### Matériel et méthodes

Pour les techniques et milieux de culture, il faut se reporter aux travaux de Boidin (1958). Le mycélium de la plupart de ces espèces a été obtenu à partir de sporées ou par boutures. Les néo-haplontes ont été obtenus en suivant la technique préconisée par Takemaru (1964), reprise par Boidin *et al.* (1976). Le code utilisé est celui établi par Nobles (1965) complété par Boidin (1966). Toutes les confrontations ont été faites avec au moins deux monospermes de chaque récolte et chaque fois que cela a été possible avec un représentant de chaque pôle. Les spores desséchées perdent vite leur pouvoir germinatif et doivent être dispersées sur milieu nutritif gélosé dans les 24 heures qui suivent le dépôt de la sporée sur lame. Toutes les observations et mesures de spores ont été faites sur sporée, ce qui permet de mieux déceler les différences souvent minimes.

Les observations au microscope à balayage ont été effectuées sur du matériel

d'herbier métallisé (Stereoscan 600 à 15 kv); nous les devons à notre collègue R. Hugueney que nous remercions bien vivement.

Les espèces sont classées par ordre alphabétique; pour chacune d'elles, nous avons mentionné les basionymes et les principales combinaisons sans omettre la référence à l'ouvrage classique de Bourdot & Galzin (1928); en voici donc la liste:

- Skeletocutis* **albocrema** sp. nov.  
*Skeletocutis* *alutacea* (Lowe) Keller  
*Skeletocutis* *amorpha* (Fr.) Kotl. & Pouz.  
*Skeletocutis* **azorica** (Reid) comb. nov.  
*Skeletocutis* **carneogrisea** sp. nov.  
*Skeletocutis* *jelicii* Tortić & David  
*Skeletocutis* **kuehneri** sp. nov.  
*Skeletocutis* *nivea* (Jungh.) Keller  
*Skeletocutis* **papyracea** sp. nov.  
*Skeletocutis* *percandida* (Malenç. & Bert.) Keller  
*Skeletocutis* **portcrossensis** sp. nov.  
*Skeletocutis* *stellae* (Pilát ex Pilát) Keller  
*Skeletocutis* *subincarnata* (Peck) Domanski  
*Skeletocutis* **subphaerosphora** sp. nov.  
*Skeletocutis* *tschulymica* (Pilát) Keller

### Clef des espèces de *Skeletocutis*

- 1    Système monomitique .....2  
      Système dimitique ou pseudodimitique .....5  
2 (1) Rhizomorphes; spores elliptiques  $2,75-3,75 \times 1,5-1,75 \mu\text{m}$  .....  
      .....*S. azorica* (Reid) comb. nov. ....3  
      Pas de rhizomorphes .....3  
3 (2) Spores subsphériques  $3,5-4 \times 3-3,5 \mu\text{m}$  .....*S. subphaerospora* sp. nov. ....4  
      Spores ellipsoïdes ou cylindriques courbées ne dépassant pas  $2 \mu\text{m}$  de large .....4  
4 (3) Spores ellipsoïdes  $(2,2)-3-3,5 \times 1,5-2 \mu\text{m}$  .....*S. jelicii* Tortić & David .....4  
      Spores cylindriques courbées  $4,5 \times 1,4-1,8 \mu\text{m}$  .....*S. portcrossensis* sp. nov. ....6  
5 (1) Contexte généralement formé de deux couches: la supérieure blanche, cotonneuse, parfois peu développée, l'inférieure, contiguë aux tubes, gélatineuse sur le frais, cornée et brune sur le sec .....6  
      Si contexte formé de deux couches, la couche cornée et brune est contiguë au substrat .....7  
6 (5) Résupinés, étalés réfléchis à surface hyméniale blanche puis rosée ou orangée, gardant le plus souvent cette couleur en séchant; couche supérieure du contexte blanche cotonneuse souvent très développée; spores cylindriques arquées  $4-4,5-(5) \times 1,3-1,8 \mu\text{m}$  .....*S. amorpha* (Fr.) Kotl. & Pouz. ....10  
      Résupinés, beaucoup plus rarement étalés réfléchis, surface hyméniale blanche, beige grisâtre à beige cornée; couche cotonneuse blanche du contexte parfois extrêmement réduite; spores cylindriques très incurvées en lune  $3,5-4-4,5 \times 1,1-1,3 \mu\text{m}$  .....*S. carneogrisea* sp. nov. ....8  
7 (5) Spores étroites ayant moins de  $1 \mu\text{m}$  de largeur .....8  
      Spores de largeur égale ou supérieure à  $1 \mu\text{m}$  .....10  
8 (7) Carpophores résupinés, souvent étalés réfléchis ou dimidiés, à pores très petits (7-8 par mm); très nombreux bouquets d'hyphes coralloïdes congophiles sur les hyphes génératrices du subiculum .....*S. nivea* (Jungh.) Keller .....9  
      Carpophores résupinés, pores plus grands .....9

- 9 (8) Espèces annuelles; 4-5 pores par mm, spores allantoïdes  $3,7-4,5 \times 0,7-0,9 \mu\text{m}$   
 ..... *S. kuehneri* sp. nov.  
 Espèce pérennes; hyménium souvent pluristratifié; pores 5-6 par mm .....  
 ..... *S. stellae* (Pilát ex Pilát) Keller
- 10 (7) Rhizomorphes nombreux et bien développés ..... 11  
 Rhizomorphes généralement absents; si présents, rares et peu développés ..... 12
- 11 (10) Spores cylindriques déprimés  $(3)-3,5-4 \times 1,5-1,75 \mu\text{m}$  ..... *S. alutacea* (Lowe) Keller  
 Spores  $5-7-(8,5) \times 2-2,75-(3) \mu\text{m}$ ; espèce très commune sur le pourtour  
 méditerranéen ..... *S. percardida* (Malenç. & Bert.) Keller
- 12 (10) Hyphes squelettiques gonflant très fortement puis se dissolvant partiellement  
 dans une solution de KOH à 5% ou d'ammoniaque ..... *S. papyracea* sp. nov.  
 Hyphes squelettiques gonflant faiblement ou pas du tout dans une solution de  
 KOH; espèces difficiles à différencier ..... 13
- 13 (12) Hyphes squelettiques peu nombreuses dans la trame; trame cohérente et se  
 dissociant mal; 2-4(5) pores par mm ..... *S. tschulymica* (Pilát) Keller  
 Très nombreuses hyphes squelettiques dans la trame; trame se dissociant  
 facilement entre lame et lamelle; 5-6 pores par mm ..... 14
- 14 (13) Carpophores très minces et adhérents au support; subiculum subnul; spores  
 cylindriques courbées  $4,5-5 \times 1,3-1,8 \mu\text{m}$  ..... *S. albocremaea* sp. nov.  
 Carpophore plus épais, moins adhérents; spores plus longues et moins  
 courbées  $5-6-(6,5) \times 1,5-1,7 \mu\text{m}$ , présence possible de rhizomorphes .....  
 ..... *S. subincarnata* (Peck) Domanski

*Skeletocutis albocremaea* sp. nov.

DESCRIPTION DES CARPOPHORES

*Carpophori resupinati maxime adhaerentes, tenuissimi, usque ad 1 mm crassi, plerumque candidi, rarius e cremei albi; poris per mm 5-6. Textura dimittica hyphis generatricibus in subiculo et in trama (prasertim in ora pororum) incrustatis; cystidiolis multis; sporis cylindricis, arcuatis, nec amyloideis, nec cyanophilis, 4-5,  $5 \times 1,3-1,8 \mu\text{m}$ .*

*Skeletocuti portcrosensi affinis, a qua differt instura tramae, atque S. subincarnatae, a qua differt carpophoris substrata adhaerentibus, trama et subiculo densius incrustatis, sporis vulgo brevioribus et magis curvis.* — *Holotypus*: LY-AD 552, *Herb. A. David, Lyon.*

Carpophores résupinés, très adhérents, très minces 0,4-0,6-(1) mm d'épaisseur, apparaissant sous forme de petites plaques de quelques mm à 1 cm de diamètre, bientôt confluentes et formant alors des revêtements de taille variable, de forme irrégulière, généralement allongés jusqu'à 10 cm de long sur 2-3 cm de large, blanc pur à l'état jeune, crème alutacé avec l'âge. Marge stérile blanche de quelques mm de large, fimbriée, parfois absente. Pores 5-6 par mm, anguleux; subiculum extrêmement mince ne dépassant pas 0,1 mm d'épaisseur; tubes 0,4-0,6-(0,8) mm, friables à la coupe, blancs.

*Système dimittique*: subiculum formé d'hyphes génératrices et d'hyphes squelet-

tiques très enchevêtrées. Les hyphes génératrices bouclées  $\times 1,5-3,5 \mu\text{m}$ , à paroi mince, un peu irrégulières, très ramifiées et anastomosées, fréquemment incrustées, présentent de nombreuses zones congophiles (boucles, segments d'hyphes, petits rameaux, bourgeons). Les hyphes squelettiques sont tortueuses, parfois légèrement rameuses ou bifurquées (fig. 1,A). Dans les dissépiements, les hyphes squelettiques sont nombreuses, régulières, sinueuses et les génératrices fréquemment incrustées, de même que l'extrémité des hyphes bordant les pores (fig. 1,B; pl. I,A). Pas de véritable sous-hyménium. Basides claviformes,  $8-12 \times 4-4,5 \mu\text{m}$ , à 4 stérigmates relativement longs ( $\times 4-4,5 \mu\text{m}$ ). Cystidiolles nombreuses, fusiformes, lancéolées ou en alène (fig. 1,C). Spores cylindriques courbées  $4-5,5 \times 1,3-1,8 \mu\text{m}$ , non amyloïdes ni cyanophiles (fig. 1,D). Sporée blanche.

*Récoltes*: LY-AD 552, sur un tronc pourri de *Cedrus*, Massif des cèdres, Ventoux, Vaucluse, Décembre 1967 (Holotype); LY-AD 3244, région d'Avignon, Vaucluse, Octobre 1974; LY-AD 3255, sur tronc pourri de *Cedrus*, Petit Lubéron, Vaucluse, leg. *Lecôt*, Octobre 1974; LY-AD 3898, sur tronc pourri de *Pinus* sp., forêt proche du Pont du Gard, Gard, 20 Février 1980; LY-AD 3929-3930-3931 sur troncs pourris de *Cedrus*, Massif des Cèdres, Ventoux, Vaucluse, 25 Mai 1980.

*Habitat*: sur tronc pourri, décortiqué, de conifères (*Cedrus*, *Pinus*); paraît être localisé dans le midi de la France.

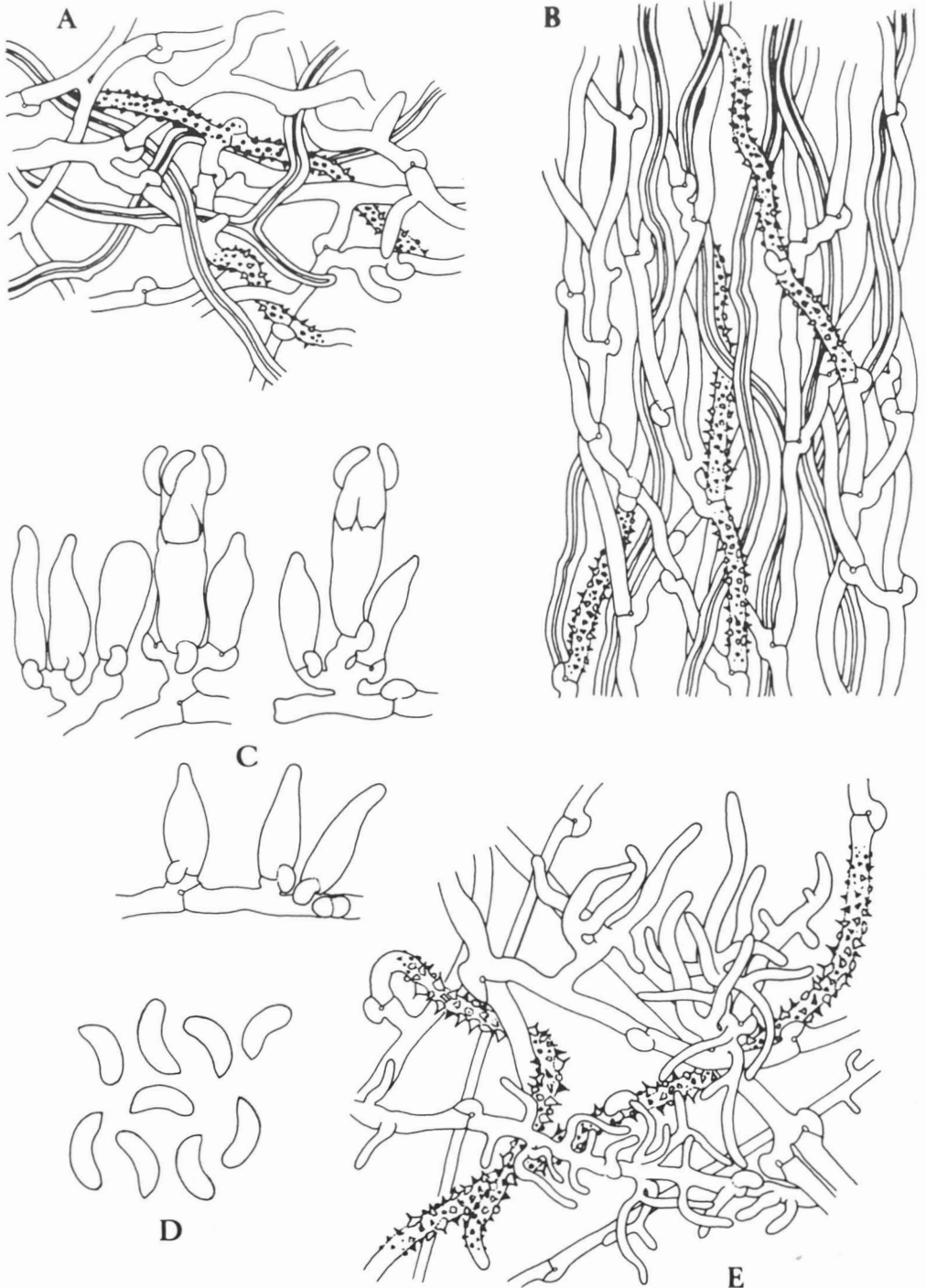


Figure 1. *Skeletocutis albocrema* sp. nov. (A, B, C, D: LY-AD 3930, E: LY-AD 3929) A. Hyphae du subiculum ( $\times 1000$ ); B. Hyphae des dissipiments ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1000$ ).

*Remarque* : espèce affine à *S. portcrossensis* et *subincarnata* : elle se distingue du premier par la présence d'hyphes squelettiques, du second par sa minceur, son adhérence au substrat, ses spores légèrement plus courtes et arquées ainsi que par le fait que subiculum et trame sont plus incrustés. Dans le subiculum de *S. albocremaea*, on observe souvent des cystides d'un champignon du genre *Tubulicrinis* (Corticaceae).

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

*Germinations et mycéliums monospermes* : les spores uninucléées germent 3 à 4 semaines après leur dispersion. Les mycéliums monospermes sont constitués d'hyphes dont les articles sont faiblement cénocytiques. Ci-dessous, quelques comptages de noyaux faits à partir de l'article terminal :

LY-AD 3898	LY-AD 552
7-2-2-2-1-1	5-2-2-1-2-2
7-1-1-1-1-1	5-2-2-1-1-2
6-2-2-1-1-1	3-2-1-1-2-1
5-2-2-1-1-1	1-1-2-1-2-1

*Polarité* : les confrontations faites à partir de 7 monospermes de la récolte LY-AD 3929 ont permis de prouver la tétrapolarité de cette espèce.

A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 1-4	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 3-5-6
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 2	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> 7

#### *Polysperme* :

*Croissance*. — Lente (boîte de 9 cm de diamètre couverte en six semaines).

*Aspect*. — Marge plongeante ; à l'état jeune, mycélium aérien peu développé, duveteux très court et lâche puis devenant avec l'âge plus dense, cotonneux feutré près de la subculture, blanc pur ; mycélium profond donnant naissance à de nombreuses veinules rayonnantes observables par transparence. Dessous inchangé ; légère odeur aromatique.

*Microscopie*. — Hyphes génératrices × 1,5-4,5 μm régulièrement bouclées, portant de courtes ramifications arbusculeuses souvent groupées en bouquet, identiques à celles observées dans *S. subincarnata* (fig. 1,E). Très nombreuses hyphes et extrémités d'hyphes incrustées. Mycélium profond identique mais sans incrustations.

*Cytologie*. — Les hyphes sont constituées d'articles binucléés et ne déboulent pas en profondeur. Signalons cependant un retour

fréquent à l'état cénocytique avec perte de boucles dans les conditions normales de cultures.

#### *Oxydases*. —

Gaïacol :	0,2‰	++++	0
	2 ‰	++++	0
Acide gallique :		++++	0
Tyrosine :		—	0
Paracrésol :		—	0

*Comportement nucléaire* : espèce hétérocytique.

*Code* : 2-3-9-12-32-36-38-46-50-55-60-63.

L'espèce, comme le montrent les caractères cultureux est très affine à *S. subincarnata*. De ce fait des confrontations ont été effectuées entre monospermes de différentes récoltes de *S. albocremaea*, *subincarnata* et *portcrossensis*. Comme le prouvent les résultats exposés (tableau I), ces trois espèces sont interincompatibles.

#### *Skeletocutis alutacea* (Lowe) Keller

*Poria alutacea* Lowe in Mycologia, 38 : 202, 1946. — *Fibuloporia alutacea* (Lowe) Christiansen in Dansk bot. Ark., 19 : 339, 1960. — *Incrustoporia alutacea* (Lowe) Reid in Revue Mycol., 33 : 237, 1969. — *Poria calcea* (Fr.) Bres. var. *coriacea* Bourd. & Galz. form. *radicata* Bourd. & Galz. in Hym. Fr., p. 674, 1928.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Annuels, résupinés, de taille inégale jusqu'à 5 cm de diamètre, minces, 1 mm d'épaisseur, séparables. Marge stérile blanche, byssoïde, plus ou moins large, généralement avec des cordons rhizomorphiques blancs. Surface hyméniale blanche à crème alutacée ; pores 5-6 par millimètre, anguleux, dissépinements entiers. Subiculum blanc, 0,2-0,4 mm d'épaisseur ; tubes concolores aux pores, 0,4-0,5 mm de hauteur.

*Système dimitique* : on distingue dans le subiculum deux parties d'importance inégale. Au contact du substratum, une zone de texture aérée, formée essentiellement d'hyphes génératrices lâchement enchevêtrées, toutes fortement incrustées, et de très rares hyphes squelettiques. Cette zone parfois extrêmement réduite peut être plus ou moins développée et atteindre dans certaines récoltes la moitié du subiculum. Au-dessus, une couche toujours présente et importante, de texture dense, serrée, constituée d'hyphes génératrices et d'hyphes squelettiques étroitement mêlées. Les hyphes génératrices, à paroi mince, bouclées,

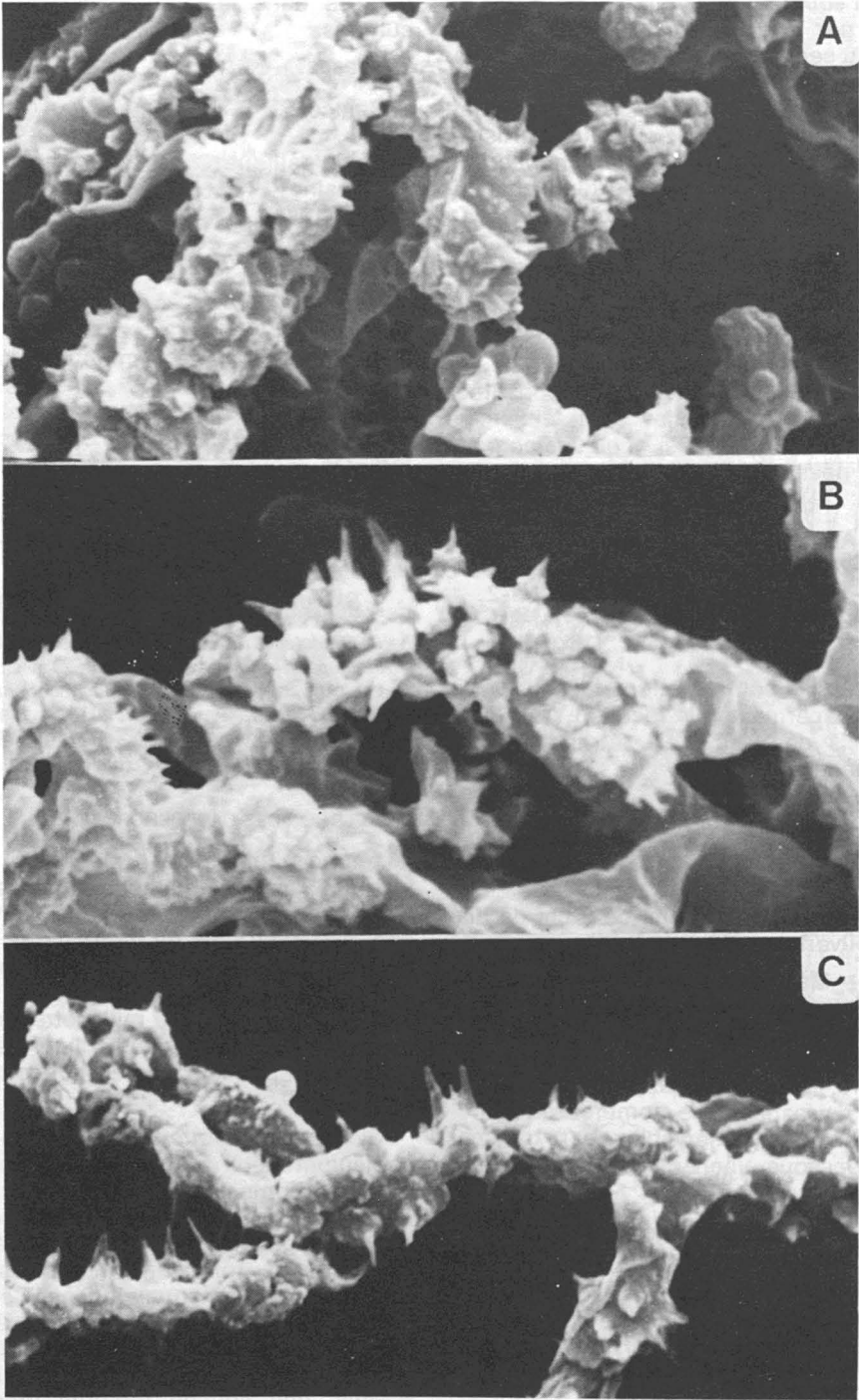


Planche I. Hyphes incrustées situées à la marge des dissipiments, observées au microscope électronique à balayage. G. x 3300. Cliché: R. Huguéney. A. *Skeletocutis albocremaea* sp. nov.; B. *Skeletocutis carneogrisea* sp. nov.; C. *Skeletocutis kuehneri* sp. nov.



TABLEAU I

Confrontations entre les monospermes de différentes récoltes de *Skeletocutis albocrema*,  
*S. portcrossensis* et *S. subincarnata*

	<i>S. albocrema</i>			<i>S. portcrossensis</i>			<i>S. subincarnata</i>	
	552	3929	3930	3493	3537	3539	433	3921
552		+	+	-	-	-	-	-
3929	+		+	-	-	-	-	-
3930	+	+		-	-	-	-	-
3493	-	-	-	-	+	+	-	-
3537	-	-	-	+	-	+	-	-
3539	-	-	-	+	+	-	-	-
433	-	-	-	-	-	-	-	+
3921	-	-	-	-	-	-	+	

sont ramifiées, très irrégulières, souvent renflées et déformées,  $\times 2-5$  (7)  $\mu\text{m}$ , ça et là certaines d'entre elles sont incrustées; les hyphes squelettiques sont très abondantes, plus nombreuses que les hyphes génératrices à paroi épaissie, régulières, sinueuses, parfois un peu ramifiées, métachromatiques dans le bleu de crésyl, larges de 1,5-4  $\mu\text{m}$ , (fig. 2.A). Dans les dissépiements, on retrouve la structure dimitique avec des incrustations nombreuses dans la trame et sur les extrémités libres des hyphes bordant les pores. Basides claviformes à subcylindriques (9)-10-13  $\times$  4-5-(5,5)  $\mu\text{m}$ , à 4 stérigmates (longs de 4-4,5  $\mu\text{m}$ ). Cystidioles très abondantes, mucronées, fusiformes ou en alène 10-13  $\times$  4-5  $\mu\text{m}$  (fig. 2.B). Spores cylindriques, déprimées (3) 3,5-4  $\times$  1,5-1,75  $\mu\text{m}$ , (fig. 2.C).

*Récoltes* : LY-AD 3975, sur conifère, col de Croix Perrier, Isère, leg. J. Boidin, 23-09-1981; LY-AD 3988, sur tronc à terre de *Fagus*, forêt de Peseux, Neuchâtel, Suisse, leg. F. Marti, 27-09-1980.

*Collections observées* : *Incrustoporia alutacea* Lowe, n° 2701 (holotype), on Hemlock, Tully, New York, 24 septembre 1944, (in K); *Poria calcea* var. *radicata* Bourdot n° 7479, sur feuille de hêtre, Saint-Thomas Aveyron, 12-10-1910; *Poria calcea* (Fr.) Bres. var. *radicata* n° 411254, sur débris d'écorce de pin, brindilles et humus, environs de Lyon, leg. Jossierand, 03-1927.

*Habitat* : sur bois de feuillus et de conifères, parfois incrustant feuilles et brindilles, cause une pourriture blanche.

*Remarque* : l'espèce présente de grandes ressemblances morphologiques avec *Skeletocutis percardida*. Microscopiquement, elle s'en distingue facilement par la taille des

spores. D'ailleurs comme l'ont très justement fait remarquer Malençon & Bertault (1971), l'examen de l'herbier Bourdot montre qu'une des récoltes rassemblées sous l'étiquette générale de *Poria calcea* var. *fragilis* Bourd. & Galz. f. *biguttulata* (récolte effectuée aux îles d'Hyères, Port Cros, (Var) par A. de Crozals le 2 avril 1926) correspond en réalité à *S. percardida* (Malençon & Bert.) Keller.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

*Germinations et mycéliums monospermes* : les spores uninucléées germent environ un mois après leur dispersion sur milieu gélosé. Les germinations donnent naissance à un mycélium dont les articles sont cénocytiques. Ci-dessous quelques comptages de noyaux faits en partant de l'article terminal :

LY-AD 3988	LY-AD 3975
5-3-2-2-1-1	11-1-2-2-1-2
4-2-2-3-2-2	9-2-2-1-2-2
3-2-3-1-1-2	6-5-1-3-1-2

*Polarité* : les confrontations effectuées entre les monospermes de la récolte LY-AD 3975 montrent que l'espèce est tétrapolaire.

A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 1-3	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 5-6-8
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 7-9-10	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> 4

#### *Polysperme* :

*Croissance*. — Extrêmement lente (2 cm en six semaines).

*Aspect*. — Marge plongeante sur quelques mm à 1 cm; mycélium blanc cotonneux laineux. Odeur nulle.

*Microscopie*. — Hyphes génératrices bouclées régulières  $\times$  (1,5)-2-4  $\mu\text{m}$ ; incrustations

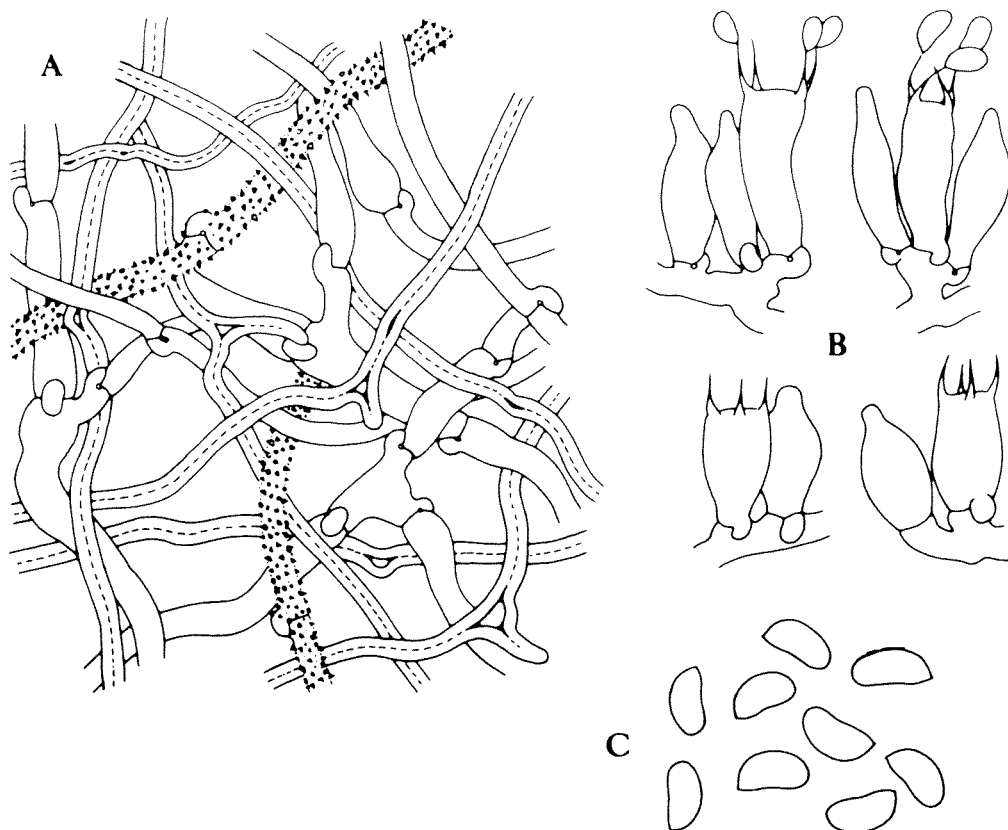


Figure 2. *Skeletocutis alutacea* (Lowe) Keller (Holotype n° 2701, Lowe, Herbarium Kew) A. Hyphes du subiculum (zone contiguë aux tubes) ( $\times 1000$ ); B. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); C. Spores ( $\times 2000$ ).

type *Skeletocutis* d'abord localisées sur les ramifications latérales puis recouvrant avec l'âge du mycélium de nombreuses hyphes sur des longueurs importantes. Mycélium profond semblable mais sans incrustations.

**Cytologie.** — Hyphes constituées d'articles binucléés et bouclés.

**Oxydases.** —

Gaïacol :	0,2 %	++++	0
	2 %	++++	0
Acide gallique :		++++	0
Tyrosine :		—	0
Paracrésol :		—	0

**Comportement nucléaire :** hétérocytique.

**Code :** 2-3-12-32-36-38-47-54-55-60-63.

*Skeletocutis amorpha* (Fr.) Kotl. & Pouz.

*Polyporus amorphus* Fr. in Syst. Mycol., 1 : 364, 1821.  
— *Leptoporus amorphus* (Fr.) Quéf. in Flore Mycol., 387, 1888. — *Gloeoporus amorphus* (Fr.) Clem. &

Shear. in Gen. Fung., 347, 1931. — *Skeletocutis amorpha* (Fr.) Kotl. & Pouz. in Ceska Mykol., 12 : 103, 1958.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Carpophores annuels, étalés, étalé-réfléchis, concoïdes, imbriqués, de contour et de taille irréguliers, membraneux flexibles à l'état frais, indurés rigides sur le sec. Face supérieure blanche ou grisâtre, indistinctement sillonnée, tomenteuse; marge très mince ondulée, largement stérile. Surface hyméniale blanche, rosée ou abricot; pores circulaires, anguleux ou irréguliers, 3-4 par millimètre.

**Contexte :** jusqu'à 1-1,5 mm d'épaisseur, nettement duplex : zone contiguë aux tubes opalescente ou translucide et cornée sur le sec, zone supérieure cotonneuse et blanche, souvent plus développée que la précédente, jusqu'à 1 mm. Tubes très courts, 0,2-1 mm, concolores aux pores.

*Système dimitique* : contexte subdimitique avec la zone supérieure cotonneuse constituée d'hyphes aux parois fortement épaissies, métachromatiques, fréquemment bouclées. Il est pratiquement impossible de distinguer avec certitude des hyphes squelettiques. La zone contiguë aux tubes est constituée d'hyphes solides, plus ou moins ramifiées, non colorées par le bleu de crésyl, à part une gangue qui se colore en bleu vif. La trame paraît nettement dimitique avec des hyphes génératrices aux parois fines et des hyphes squelettiques, ces dernières moins nombreuses et n'atteignant pas l'extrémité des dissépiments (fig. 3,A<sub>1</sub>). Présence d'incrustations mais toujours en petit nombre à l'extrémité des dissépiments, à la partie supérieure du contexte et ça et là dans la trame. Basides claviformes 12-15 (16,5) × 4-4,5 μm; cystidioles généralement fusiformes et parfois mucronées (8)-10-15 × 3,5-5 μm (fig. 3,A<sub>2</sub>); spores cylindriques arquées, hyalines, 4-4,5 (5) × 1,3-1,8 μm, non amyloïdes ni cyanophiles (fig. 3,A<sub>3</sub>).

*Récoltes françaises* : LY-AD 247 sur souche de *Pinus* entre Tournon et Lamastre, Ardèche, début mars 1966; LY-AD 422 sur *Pinus*, Bourdeaux, Drôme, 17-05-1967; LY-AD 700 sur tronc couché brûlé de *Pinus*, Saint-Romain Passieu, Ain, 2-03-1979; LY-AD 799 sur *Pinus*, forêt de Tronçais, Allier, 19-10-1969; LY-AD 859 sur souche de *Pinus*, forêt de Janas, Six Fours, Var, décembre 1969.

*Autres récoltes* : LY-AD 3770 sur *Picea*, Femsjö, Suède leg. D. Lamoure, 9-9-1979; LY-AD 3784 sur *Picea*, Bottnaryd à l'ouest de Jönköping, Suède, leg. D. Lamoure, 21-09-1979; LY-AD 3765, sur *Picea*, Femsjö lieu dit Löjenäs, Suède, leg. D. Lamoure, 6-09-1979.

*Habitat* : sur souches et troncs coupés de conifères plus spécialement sur *Pinus*, du moins en France, parfois incrustant les aiguilles; provoque une pourriture blanche.

*Remarque* : la plupart des auteurs décrivent le feutrage piléique comme constitué d'hyphes squelettiques à paroi épaisse; comme nous l'avons signalé dans la description, ces hyphes correspondraient plutôt à des hyphes sclérifiées, car elles présentent fréquemment cloisons et boucles, observation déjà faite par Teston (1953).

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

— Faite sur les récoltes 700 et 859 —

*Germinations et mycéliums monospermes* : les spores uninucléées germent environ un

mois après leur dispersion et donnent des germinations aux articles cénocytiques. Cidessous quelques comptages à partir de l'article terminal d'hyphes monospermes.

LY-AD 700	LY-AD 859
35-8-2-6-8	30-4-2-2-4
33-4-4-7-4	25-4-1-2-8-5
18-4-7-2-2	20-4-2-4-2

*Polysperme* : déjà étudié par de nombreux auteurs dont Nobles (1948), Käärik & Rennerfeld (1957), Bakshi *et al.* (1969). Personnellement nous n'avons observé que très rarement des fibres.

*Comportement nucléaire* : espèce hétérocytique.

*Code* : 2-3-(8)-9-12-32-36-38-42-44-48-53-55-60-63.

#### *Skeletocutis azorica* (Reid) comb. nov.

*Incrustoporia azorica* Reid in Dennis *et al.*,  
Kew Bull., 32: 106, 1977

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Traduite de la description originale de Reid (*in* Dennis *et al.*, 1977).

Carpophores résupinés poroïdes, de couleur crème avec des cordons rhizomorphiques blancs, plus ou moins nombreux et développés. Pores 4-6 par mm, petits, angulaires, souvent irréguliers, avec des dissépiments très minces, fragiles, papyracés et fimbriés; pores s'étendant jusqu'à l'extrême marge du carpophore. Chair blanche, très mince et cotonneuse, formée d'hyphes entrelacées, sans couche basale distincte. Hyphes adjacentes au substrat nettement incrustées. Structure hyphale du contexte et des rhizomorphes monomitique; hyphes génératrices, hyalines, bouclées, ramifiées, de 2-2,5 μm de large, aux parois minces souvent fortement incrustées (fig. 4,A). Cystidioles 9-11,5 × 3,2-3,5 μm, aux parois minces, hyalines, fusiformes ou lancéolées sans incrustations. Basides 9-12 × 4-4,5 μm tout d'abord ovales puis claviformes, aux parois minces et hyalines; quatre stérigmates (fig. 4,D). Spores 2,75-3,75 × 1,5-1,75 μm [les mensurations de spores faites par nous sont très légèrement supérieures à celles données par l'auteur: 3,5-4 × 1,8-2-(2,2) μm] elliptiques, aux parois minces, hyalines, non amyloïdes (fig. 4,E).

*Habitat* : sur branches de *Pinus pinaster*, Monte Brasil, Angra do Heroísmo, Terceira, 6 avril 1975 et sur *Pteridium* à la même place

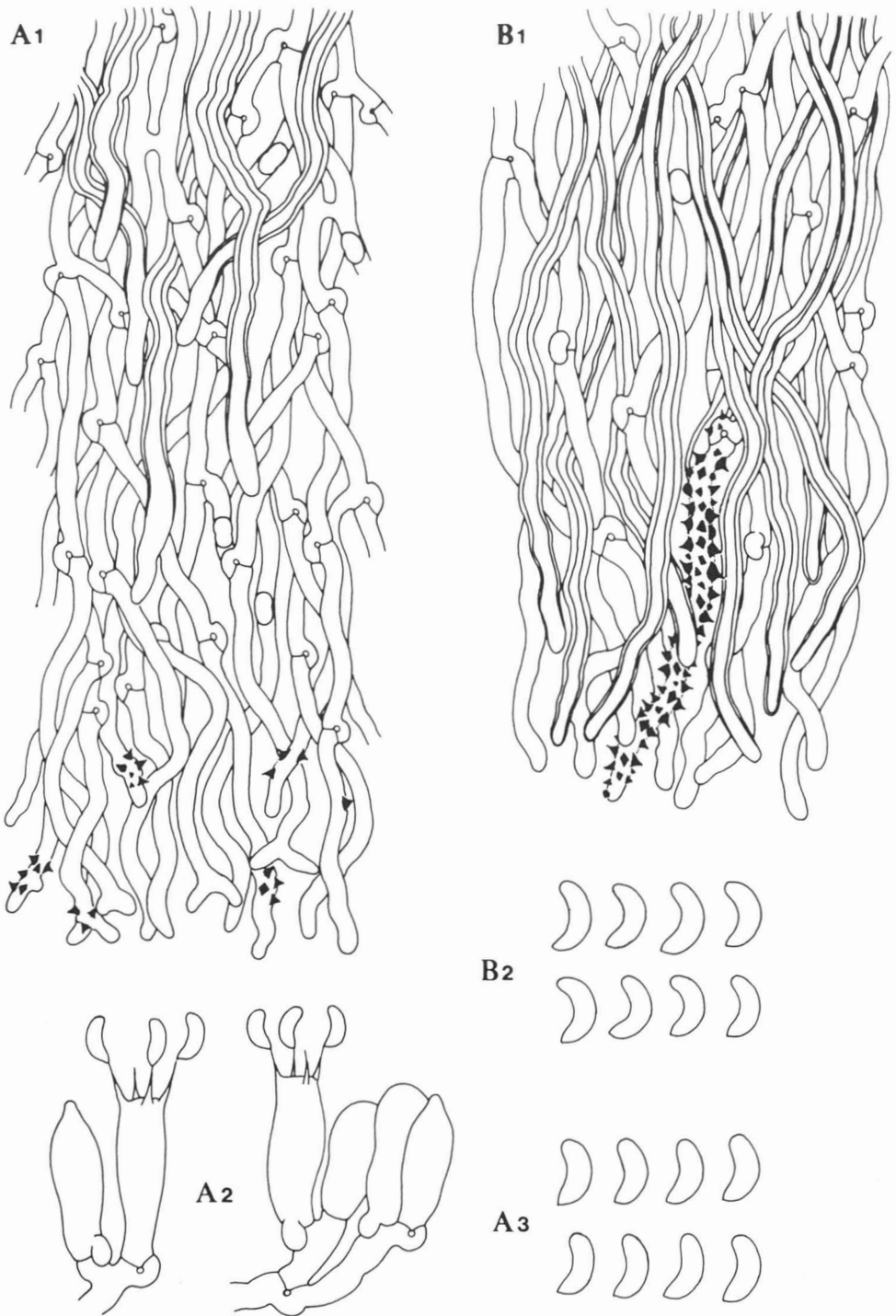


Figure 3. A: *Skeletocutis amorpha* (Fr.) Kotl. & Pouz. (LY-AD 700) A<sub>1</sub>. Hyphes d'un dissépiement (× 1000) (toutes les incrustations sont figurées); A<sub>2</sub>. Basides et cystidies (× 1500); A<sub>3</sub>. Spores (× 2000). B: *Skeletocutis carneogrisea* sp. nov. (LY-AD 248) B<sub>1</sub>. Hyphes d'un dissépiement (× 1000) (une seule hyphe incrustée est figurée); B<sub>2</sub>. Spores (× 2000).

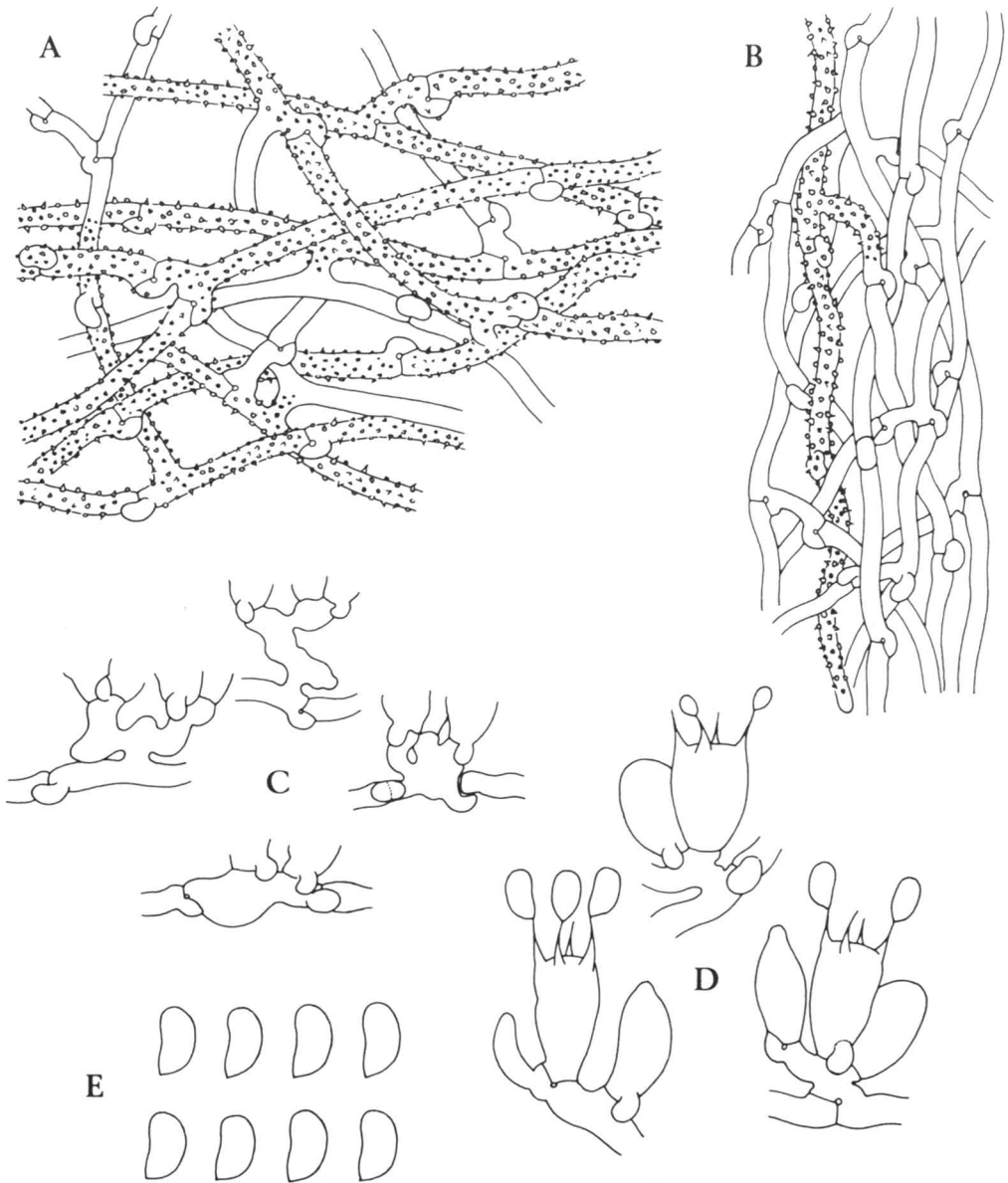


Figure 4. *Skeletocutis azorica* (Reid) David (Holotype, récolte sur *Pteridium*, Reid, Herbarium Kew). A. Hyphes du subiculum ( $\times 1000$ ); B. Hyphes de la trame observée après dilacération dans le rouge congo ammoniacal ( $\times 1000$ ); C. Articles déformés du sous-hyménium ( $\times 1500$ ); D. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); E. Spores ( $\times 2000$ ).

et date (Holotype in Kew); sur racines de *Cryptomeria japonica*, Mata da Cha de Macela, Sao Miguel, Janvier 1966, leg. *Dona Natalina de Azevedo*

*Remarque* : comme le signale Reid, cette espèce est proche d'*Incrustoporia alutacea*, notamment par ses cordons rhizomorphiques, les cystidioles et les hyphes souvent recouvertes d'incrustations de type *Skeleto-*

*cutis*; elle s'en distingue par sa constitution monomitique. Par cela, elle n'est pas sans rappeler *S. subsphaerospora*, également monomitique mais à spores subsphériques et plus grosses.

*Skeletocutis carneogrisea* sp. nov.

*Leptoporus amorphus* (Fr.) Quél. form. *molluscus* (P. Karst.) sensu Bourd. & Galz. in Hym. Fr., 549, 1928;

— non *Bjerkandera mollusca* Karst. in Revue Mycol., 9: 9, 1887.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

*Carpophori annui, resupinati, orbiculares, 1,5-5 cm lati, expansi reflexi, pileis conchatis undatis, 1-2 cm latis, membranaceis, vivis lentis, siccis induratis rigidis; facie superiore pilei tomentosa et tunc albida, vel glabra et specie cornea; textura saepe duplici, strato tubulis contiguo corneo, alio albido, gau-sapato et vestimentum pilei constituenta, vel substrato contiguo, hoc interdum absente. Textura dimitica, hyphis genetricibus, in extrema parte dissepimentorum incrustatis; Cystidiolis fusiformibus; sporis cylindricis arcuatis, 3,5-4,5 x 1,1-1,3  $\mu\text{m}$ , nec cyanophilis, nec amyloïdis.*

*Skeletocutis amorphae affinis, colore nunquam roseo nec armeniaco, extrema parte dissepimentorum multo magis incrustata, sporis magis arcuatis distinguenda. — Holotypus: LY-AD 4074, Herb. A. David, Lyon.*

Carpophores annuels, résupinés, circulaires  $\times$  1,5-5 cm de diamètre, parfois confluent, alors de contours irréguliers, plus rarement étalé-réfléchis avec chapeaux conchoïdes de 1-2 cm de large, membraneux, flexibles à l'état frais, indurés rigides sur le sec. Surface hyméniale carnée grisâtre<sup>1</sup>, carnée brunâtre sale, 10YR 8/3 8/4, marge blanche festonnée se détachant facilement du support en séchant. Face supérieure des chapeaux blanchâtre, tomenteuse, azone ou parcourue de sillons glabres, cornés, brunâtres. Pores angulaires, 4-6 par mm, dissépiments minces; subiculum duplex ou non, 1 mm d'épaisseur avec couche contiguë aux tubes, cornée, translucide ou brunâtre toujours présente et parfois accompagnée d'une couche plus fine, blanche, cotonneuse. Lorsque cette couche est absente dans les carpophores réfléchis, la surface supérieure du chapeau apparaît alors glabre, cornée et brunâtre. Tubes concolores aux pores 0,5-1 mm.

*Système dimitique.* Subiculum: couche cornée constituée d'hyphes très cohérentes à paroi épaisse, fortement congophile, se colorant très faiblement en rose au violet de crésyl et entourée d'une couche ou d'un ciment bleu vif dans le même colorant. Ces hyphes ont des cloisons bouclées: ce sont

des hyphes sclérifiées. La zone blanche cotonneuse de texture très lâche est formée d'hyphes aux parois épaissies, peu ramifiées et métachromatiques. Il est difficile de les assimiler à de vraies hyphes squelettiques étant donné la présence fréquente de boucles. Des incrustations (non typiques du genre) peuvent être observées de ci et de là. Par contre, la trame apparaît dimitique avec des hyphes génératrices fortement incrustées vers l'extrémité des dissépiments (incrustations de type *Skeletocutis* (pl. I,B); les hyphes squelettiques nombreuses peuvent être observées jusqu'à l'extrémité des dissépiments (fig. 3,B<sub>1</sub>). Basides claviformes 12-15  $\times$  4-4,5  $\mu\text{m}$  à 4 stérigmates; cystidioles nombreuses, spores cylindriques très curvées en lune (3,5)-4-(4,5)  $\times$  1,1-1,3  $\mu\text{m}$  (fig. 3,B<sub>2</sub>).

*Récoltes françaises:* LY-AD 329 sur *Pinus*, Claveisolles, Rhône, leg. Capellano, 28-10-1966; LY-AD 438 sur *Picea*, région Oyonnax, Ain, 24-08-1967; LY-AD 441 sur *Pinus*, Saint-André-de-Corcy, Ain, 7-06-1967; LY-AD 703 sur tronc brûlé de *Pinus*, Saint-Romain-Passieux, Ain, 2-3-1969; LY-AD 866 sur *Pinus* près des Grottes de la Balme, Isère, 1-02-1970; LY-AD 3741 sur *Abies*, Pramenoux, Rhône, 29-08-1978; LY-AD 4074 sur tronc de *Pinus* couché, Saint-Romain-Passieux, Ain, 15-02-1981, Holotypus, Herbier AD, Lyon.

*Récoltes étrangères:* LY-AD 979 sur conifère, Lac Saint-Joseph, Québec, Canada, 19-09-1971; LY-AD 3833, sur tronc de *Picea*, environ d'Hylltebruk, Ouest d'Holmsjon, Suède, leg. D. Lamoure, 22-09-1979, LY-AD 4015, sur *Picea*, environs de Lucerne, Suisse, 3-10-1980.

*Exsiccata observés:* Herbier H. Bourdot n° 39120, *Leptoporus amorphus* var. *molluscus*, sur *Pinus* environs de Strasbourg, leg. L. Maire, 1925; *Leptoporus amorphus* var. *molluscus* Karst., sur *Pinus*, Toulon, leg. A. de Crozals, 160-04-1927.

*Remarque:* nous avons étudié *Bjerkandera mollusca* (Karst. n° 1548 (type) Fennia. *Travestia australis*. Tammela, Salois (= Saloinen: Mustala N.) in ligno pini. VIII 1886, leg. et det. P. A. Karsten (Herbier: H.). C'est une espèce résupinée, monomitique, aux hyphes génératrices à paroi fortement et irrégulièrement épaissie, fortement congophile, nettement métachromatique et aux spores cylindriques, 5-6  $\times$  2-2,2  $\mu\text{m}$ .

Elle ne correspond donc aucunement aux récoltes de Bourdot et aux nôtres décrites ici sous le nom de *Skeletocutis carneogrisea*.

<sup>1</sup> Se référer au Code: Munsell book of Color Company (1950, Baltimore, Maryland).

Lowe (1956 : 101) avait conclu après l'étude de cet exsiccata « which is the same as *Physisporus aurantiaca* var. *saloisensis* = *Poria aurantiaca* ». Nous n'approuvons pas cette détermination basée sans doute sur la ressemblance des spores : les hyphes de ces deux espèces sont en effet bien différentes, celles de *Poria aurantiaca* ont des parois minces et sont imprégnées d'une substance colorée. Donk (1967) s'étonne de l'opinion de Lowe car, écrit-il, la description de Karsten « *alba carnosus, gelatinoso-mollis, effuso-reflexus* » ne correspond en aucune façon à *P. aurantiaca*. Nous pensons que la couleur du champignon de Karsten en herbier est due à l'âge et qu'il est fort possible qu'il ait été blanc à la récolte ; de plus, les hyphes fortement épaissies et congophiles correspondent assez bien à une espèce « gelatinoso-mollis ». Il est évidemment fort regrettable que le type de pourriture soit difficile à définir ; si la pourriture était brune, la récolte de Karsten pourrait correspondre à un *Spongiporus* ?

*Habitat* : espèce assez courante, poussant sur conifères, le plus souvent sur *Pinus*, du moins en France. Domanski signale que *S. amorphus* forme *mollusca* pousse souvent sur des carpophores d'*Hirschioporus abietinus* ; nous avons fait les mêmes observations mais avec *Hirschioporus fuscoviolaceus*.

*Remarque* : espèce très affine à *Skeletocutis amorphus* dont elle se distingue par le port très souvent résupiné, la couleur de l'hyménium, l'absence assez fréquente de la couche blanche cotonneuse du contexte, la présence d'hyphes squelettiques dans la trame jusqu'à l'extrémité des dissépiments et surtout par les spores beaucoup plus incurvées.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

*Germinations et mycéliums monospermes* : les spores uninucléées germent environ quinze jours après leur dispersion. Les articles des monospermes sont cénocytiques, particulièrement l'article terminal comme le montrent les quelques relevés ci-dessous :

LY-AD 4074	LY-AD 4016
17-2-2-2-2-2-2	15-2-1-1-2-2-1
16-4-2-3-1-1-2-2	13-4-4-1-2-2-1
6-2-2-1-1-1	5-2-2-1-1-1

*Polarité* : les confrontations effectuées à partir de 10 monospermes de la récolte LY-AD 4016 montrent que l'espèce est tétrapolaire.

A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	1-3-7-8	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	5-6
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	2-4-9	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	10

#### *Polysperme* :

*Croissance*. — Moyenne (boîte recouverte en 4-5 semaines)

*Aspect*. — Marge régulière ou non, plongeante ; mycélium appliqué, duveteux donnant très rapidement naissance à des touffes d'aspect laineux à plumeux, blanc pur, de taille et répartition variables. Fructifications dès la troisième semaine, blanches, puis crème brunâtre 10 YR 7,5/4.

*Microscopie*. — Marge constituée d'hyphes génératrices bouclées × 2,3-3 μm de diamètre, à paroi irrégulièrement épaissie ; dans les zones plus âgées, certaines de ces hyphes sont longuement incrustées (incrustations de type *Skeletocutis* ou beaucoup plus grosses et plus ou moins cubiques) ; boucles et très courts rameaux congophiles ; fibres très rarement observées ; odeur légèrement aromatique. Dessous inchangé.

*Cytologie*. — Articles binucléés.

*Oxydases*. —

Gaïacol :	0,2 ‰	+++++	0
	2 ‰	+++++	0
Acide gallique :		+++++	0
Tyrosine :			-0
Paracrésol :			-0

*Comportement nucléaire* : hétérocytique.

*Code* : 2-3-(8)-9-12-32-36-48-53-60-63.

Les confrontations effectuées entre les différentes souches de *S. carneogrisea* françaises (LY-AD 151-242-4074), suisse (LY-AD 4016) ou canadienne (LY-AD 979) sont toutes positives ; par contre celles effectuées entre ces mêmes souches et celles de *Skeletocutis amorphus* (françaises LY-AD 700-859 ou suédoise LY-AD 3784) sont négatives. Ces résultats venant renforcer les différences morphologiques, nous pensons que *Skeletocutis carneogrisea* est une bonne espèce.

#### *Skeletocutis jelicii* Tortić & David

in Bull. Soc. linn. Lyon, 50 : 217-219, 1981

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Carpophores étalés, très petits, 2-3 cm de longueur, très minces, au plus 0,5 mm d'épaisseur. Pores blanc pur, anguleux, 7-8 par mm. Dissépiments minces, fimbriés. Subiculum presque inexistant. Tubes très

courts, 0,5 mm au maximum. Marge stérile, pruineuse par endroit.

*Système monomitique*: hyphes génératrices bouclées, à paroi un peu épaissie, légèrement métachromatique. Marge formée de bouquets d'hyphes dressées, non incrustées, analogues à celles observées à l'extrémité des dissépiments; hyphes appliquées au support ou à l'intérieur de ce dernier fréquemment incrustées (incrustations souvent épineuses). Subiculum très mince (15-30  $\mu\text{m}$  d'épaisseur), formé d'hyphes génératrices très ramifiées, souvent irrégulières, appliquées au support ou dressées dans le sens des dissépiments et présentant de nombreux rameaux, bourgeons ou portions d'articles fortement congophiles  $\times$  (1,5)-2-3-(4)  $\mu\text{m}$  (fig. 5.A). Hyphes des dissépiments parallèles entre elles et à l'axe des tubes, étroitement accolées et assez cohérentes, bien ramifiées, un peu irrégulières,  $\times$  (1,5) 2-3-(3,5)  $\mu\text{m}$  (fig. 5.B). À l'extrémité des dissépiments, les hyphes bordant les pores ne portent pas d'incrustations; cependant la plupart ont une paroi à surface granuleuse ou échinulée car recouverte de petits amas d'une substance d'aspect gélatineux, peut-être mucilagineuse (nombreuses spores adhérentes). Basides claviformes, les plus courtes cylindriques, (7)-8-11-(13)  $\times$  4-5  $\mu\text{m}$ ; cystidioles nombreuses, ventruës et mucronées, plus rarement fusiformes ou lancéolées, 6-12  $\times$  2,5-5  $\mu\text{m}$  (fig. 5.C). Spores ellipsoïdes, hyalines, non cyanophiles ni amyloïdes, (2,2)-3-3,5  $\times$  1,5-2  $\mu\text{m}$  (fig. 5.D). Par endroits, émergeant de l'hyménium, on observe des hyphes dressées et très souvent incrustées (incrustations de type *Skeletocutis*), assez fréquentes au fond des tubes (fig. 5.E). Pas de sous hyménium différencié.

*Récolte*: une seule récolte n° 376-80, sur tronc d'*Abies alba* dans le Parc National Plitvicka jezera, réserve naturelle Corkova uvala, (forêt de hêtres et de sapins, alt. 950 m), Yougoslavie, 13-08-1980, leg. M. et S. Tortić. Type déposé dans l'herbier du département de botanique, Faculté des sciences, Université de Zagreb, Yougoslavie (ZA).

*Affinités*: le système monomitique rapprocherait cette espèce de *Skeletocutis azorica*, de *Skeletocutis subsphaerospora*, ainsi que de *Fibuloporia donkii*.

Une seule différence, le type de pourriture qui paraît être brune. Mais la récolte est petite et l'on peut se demander si la dégradation du bois est bien due à ce champi-

gnon? D'autres récoltes paraissent souhaitables pour éclaircir ce point et compléter ces observations par l'étude des caractères mycéliens.

*Skeletocutis kuehneri*<sup>2</sup> sp. nov.

DESCRIPTION DES CARPOPHORES

*Carpophori annui, resupinati, facie hymeniali alba, dein aetate et siccitate pallide ochracea, saepe rimosa, subiculum etiamque substratum detegente; margine sterili, alba, saepe nulla, poris 4-5 per mm; subiculo tenuissimo, 0,1-0,3 mm crasso, gausapato, albo, nisi in tenuissimo strato basali corneo et brunneo, interdum absente, tubulis poris concoloribus, 0,5-1-(4) mm altis. Textura dimitica, hyphis genetricibus incrustatis, praesertim in extrema parte dissepimentorum, cystidiolis multis; sporis allantoideis, angustissimis, 3,7-4,5  $\times$  0,7-0,9  $\mu\text{m}$ , nec amyloideis, nec cyanophilis. — Skeletocuti tschulymica maxime affinis, estiamque omnino similis characteribus morphologis; sub micr., sporis angustioribus, sporis S. stellae fere similibus distinguenda. — Holotypus LY-AD 765, Herb. A. David, Lyon.*

Carpophores annuels, résupinés, marge tantôt stérile très étroite, pubescente, souvent nulle, tantôt fertile et alors formée de pores très courts, réticulés, presque sans subiculum. Surface hyméniale blanche puis, avec l'âge et en séchant, ocracée clair, souvent crevassée laissant voir le subiculum ou même le substrat. Pores 4-5 par mm parfois irréguliers et de ce fait beaucoup plus grands. Subiculum très mince variant entre 0,1 et 0,3 mm d'épaisseur suivant les récoltes, cotonneux, blanc, à part une très fine couche basale, parfois absente, cornée et brunâtre. Tubes concolores aux pores, 0,5-1 mm, plus rarement jusqu'à 4 mm de hauteur.

*Système dimitique*: le subiculum présente chez la plupart des spécimens deux zones superposées: une zone contiguë aux tubes et constituée d'hyphes génératrices et squelettiques très enchevêtrées; hyphes génératrices bouclées à paroi mince ou modérément épaissie, non métachromatique au bleu de crétyl  $\times$  2-3 (3,5)  $\mu\text{m}$ ; hyphes squelettiques souvent rameuses à paroi épaissie, congophile et métachromatique.

<sup>2</sup> En hommage au mycologue français R. Kühner.



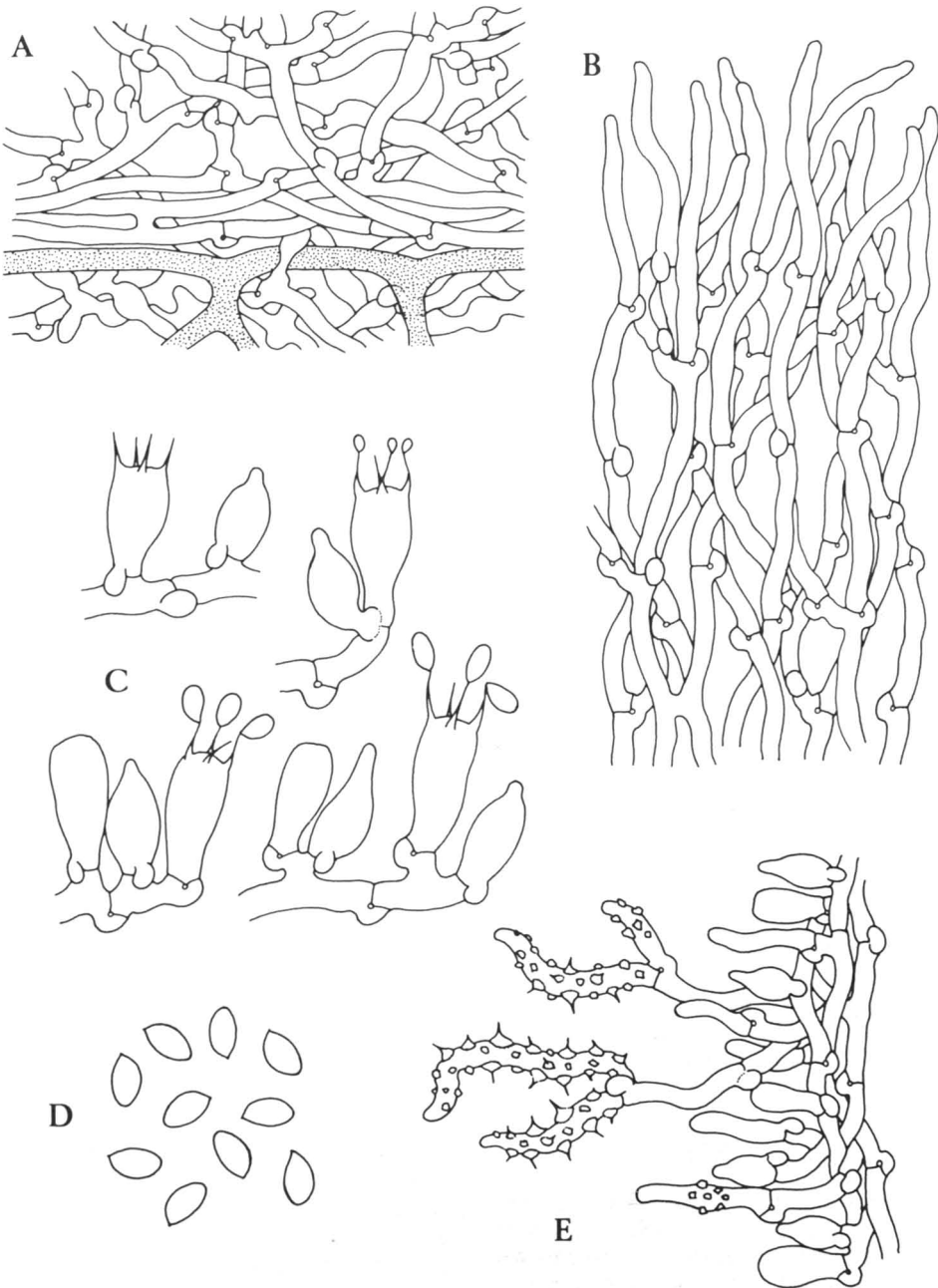


Figure 5. *Skeletocutis jelicii* Tortić & David (Holotype n° 376-80, Herbier de Zagreb). A. Hyphes du subiculum (en grisé, paroi des vaisseaux du bois constituant le support), ( $\times 1000$ ); B. Hyphes de la trame, à l'extrémité des dissépiements, (observées après dilacération dans le rouge congo ammoniacal) ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Hyphes incrustées émergeant de l'hyménium ( $\times 1500$ ).

Ces deux types d'hyphes, plus ou moins dressées en direction des dissépiments, sont fréquemment gainées de cristaux type *Skeletocutis* (fig. 6,A<sub>1</sub>). La seconde zone au contact du support est de texture différente, formée essentiellement d'hyphes génératrices bouclées à paroi mince, régulières, hyalines, étroitement accolées et assez cohérentes, d'orientation sensiblement parallèle au support et non métachromatiques au bleu de crésyl  $\times 2,5-4 \mu\text{m}$ . Incrustations rares ou absentes (fig. 6,A<sub>2</sub>). Cette seconde zone peut manquer dans certains échantillons. Appliquées tout contre le support se rencontrent çà et là des hyphes génératrices de très fort calibre  $\times 5-10 \mu\text{m}$ . Dissépiments à trame également dimitique présentant de nombreuses incrustations; à l'extrémité des dissépiments les hyphes bordant les pores sont presque toutes incrustées (fig. 6,B; pl. I,C). Les hyphes squelettiques du subiculum et de la trame gonflent très légèrement dans le congo ammoniacal et se colorent en rose. Pas de sous-hyménium bien différencié; basides  $8-13 \times 3,5-4,5 \mu\text{m}$  à 4 stérigmates, cystidioles nombreuses (fig. 6,C)  $8-12 \times 3,5-4 \mu\text{m}$ . Spores allantoides,  $3,7-4,5 \times 0,7-0,9 \mu\text{m}$ , non amyloïdes et acyanophiles (fig. 6,D).

**Récoltes :** LY-AD 753 et LY-AD 755 sur *Pinus sylvestris*, Bois de Chaulne, Allier, Septembre 1965; LY-AD 765 sur *Pinus*, forêt de Tronçais, Allier, 4-10-1969 (Holotype), LY-AD 805 sur *Pinus*, Crémieux, Isère, 26-10-1969; LY-AD 3510 sur *Pinus*, La Sardinière, Port Cros, Var, 30-10-1977.

**Habitat :** les récoltes précédentes laissent penser que cette espèce croît sur conifères, plus particulièrement sur *Pinus*.

**Affinités :** très affine à *Skeletocutis tschulymica* dont elle ne peut se reconnaître morphologiquement. Microscopiquement elle s'en distingue par ses spores plus étroites et presque identiques à celles de *S. stellae*.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

**Germinations et mycéliums monospermes :** les spores uniculées germent environ trois semaines après leur dispersion et les germinations sont constituées d'articles cénocytiques, plus spécialement l'article terminal. Ci-dessous quelques relevés :

LY-AD 3510	LY-AD 753
21-8-4-2-2-2	9-2-2-1
13-2-2-1-2-2	7-3-1-2
9-2-2-1-1-2	3-1-1-1

**Polarité :** les confrontations effectuées à partir de 10 monospermes de la récolte LY-AD 765 ont montré que l'espèce est tétrapolaire.

A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	1-5-10	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	3-9
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	4-7-8	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	2-6

Des fausses boucles ont été observées dans les confrontations suivantes:  $6 \times 5$ ,  $2 \times 10$ .

#### Polysperme :

**Croissance.** — Lente à très lente (7 à 9 cm en six semaines).

**Aspect.** — Marge largement lobée; mycélium appliqué laissant voir le milieu par transparence avec zones plus ou moins étendues blanches farineuses à grumeleuses. Odeur nauséuse; dessous inchangé.

**Microscopie.** — Marge constituée d'hyphes de  $2-3 \mu\text{m}$  de large, riches en corpuscules lipidiques, bouclées. Mycélium aérien: hyphes génératrices  $\times 2-3 \mu\text{m}$  régulièrement bouclées. Incrustations nombreuses et sur de grandes longueurs ( $200$  à  $300 \mu\text{m}$ ) si en position intercalaire, beaucoup plus courtes lorsqu'elles sont localisées sur des rameaux. Cristaux de deux types: soit gros et plus ou moins cubiques, soit beaucoup plus petits, de type *Skeletocutis*. Présence de gros axes mycéliens irréguliers  $\times 5-8$  ( $10 \mu\text{m}$  plus ou moins complètement obturés, fortement congophiles et à boucles très peu développées. Certaines hyphes sont recouvertes d'une substance jaune dorée (fig. 6,E).

**Cytologie.** — Articles binucléés.

**Comportement nucléaire.** — Hétérocytique.

**Oxydase.** —

Gaïacol:	0,2‰	+	tr.
	2‰	+	0
Acide gallique:		++++	0
Tyrosine:		++++	0
Paracrésol:		- à +	

**Code :** 2-3-12-36-38-47-50-55-60-63.

Le mycélium en culture de cette espèce est bien différent de celui de *S. tschulymica* par son aspect toujours appliqué jamais cotonneux laineux, par l'absence de chlamydospores et de ramifications plus ou moins coralloïdes. Il serait plus proche de celui de *S. stellae*.

Les différences entre ces trois espèces étant faibles, il nous a paru intéressant d'en confronter les monocaryons. Ces trois espèces sont interincompatibles (tableau II).

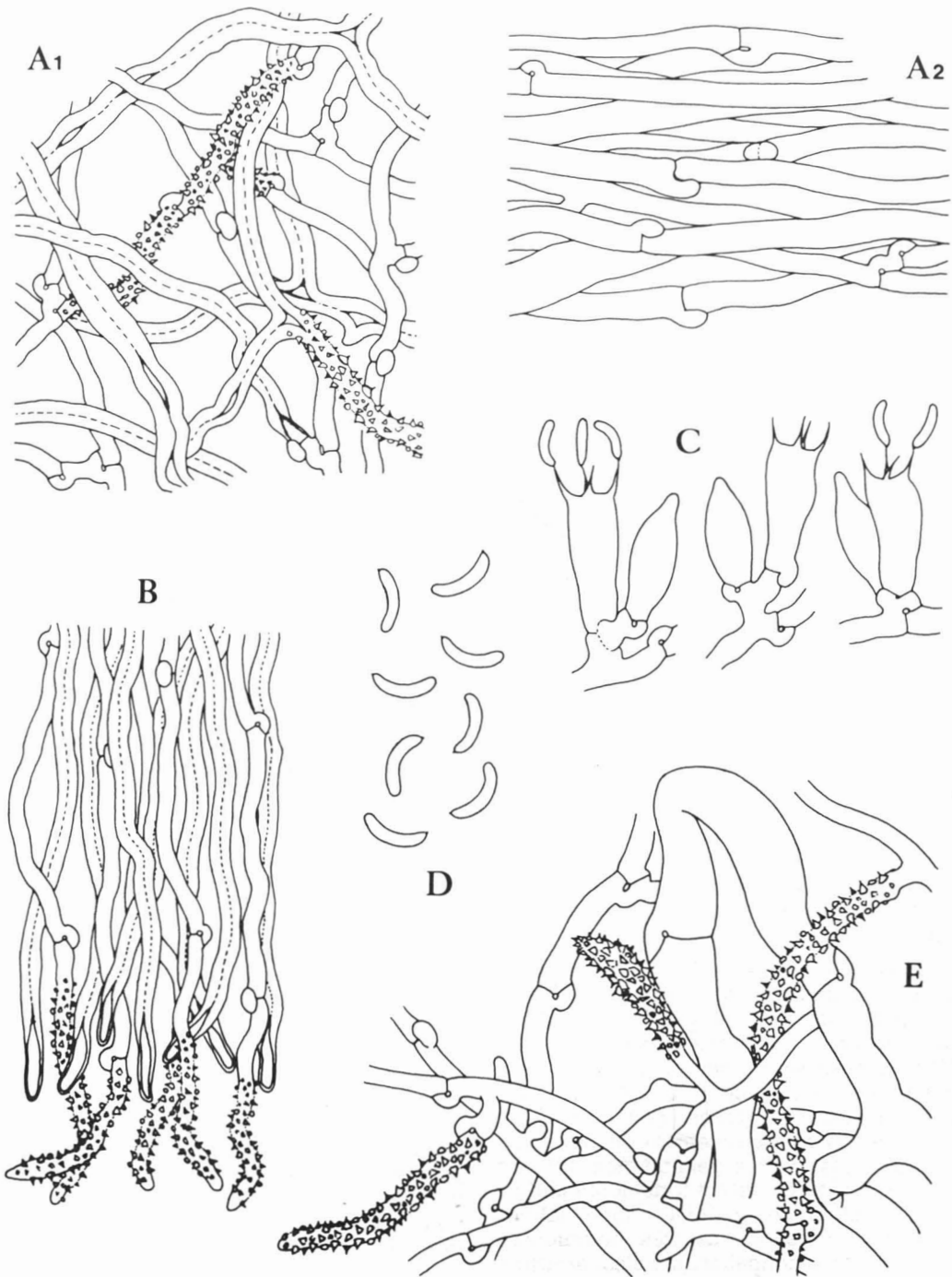


Figure 6. *Skeletocutis kuehneri* sp. nov. (A, B, C, D: LY-AD 755, E: LY-AD 765) A. Hyphes du contexte. 1. zone contiguë aux tubes ( $\times 1000$ ), 2. zone contiguë au support ( $\times 1000$ ); B. Hyphes de l'extrémité d'un dissépinement ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1000$ ).

TABLEAU II

Confrontations entre les monospermes de différentes récoltes de *Skeletocutis kuehneri*, *S. stellae* et *S. tschulymica*

	<i>S. kuehneri</i>			<i>S. stellae</i>		<i>S. tschulymica</i>	
	755	765	3510	3134	3363	3049	3713
755	-	+	+	-	-	-	-
765	+	-	+	-	-	-	-
3510	+	+	-	-	-	-	-
3134	-	-	-	-	+	-	-
3363	-	-	-	+	-	-	-
3049	-	-	-	-	-	-	+
3713	-	-	-	-	-	+	-

### *Skeletocutis nivea* (Jungh.) Keller

*Polyporus niveus* Jungh. in Verh. Genootsch. 17: 48, 1839. — *Incrustoporia nivea* (Jungh.) Ryv. in Norw. J. Bot., 19: 232, 1972. — *Tyromyces semipileatus* (Peck) Murr. in N. Ann. Fl., 9: 35, 1907. — *Leptotrimitus semipileatus* (Peck) Pouzar in Ceska Mykol., 20: 175, 1966. — *Leptoporus chioneus* (Fr.) Quélet in Fl. Mycol., 385, 1888.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Carpophores étalés, étalé-réfléchis ou dimidiés, conchoïdes, occasionnellement concrescents  $0,5-1,5 \times 2-4 \mu\text{m}$ . Surface supérieure finement pubescente à glabrescente, blanche, ocracée, brun bistre. Pores très fins, presque invisibles à l'œil nu 7-8-(10) par mm, arrondis ou anguleux, blanc pur puis alutacés, souvent tachés de gris bleu, gris vert. Contexte tendre, cotonneux, blanc, 1-4 mm d'épaisseur. Tubes très courts 0,5-1 mm de longueur, alutacés sur le sec.

**Système dimitique** : dans la partie supérieure du contexte, les hyphes génératrices principales, de fort calibre, sont orientées parallèlement à la surface du support ou du chapeau chez les formes dimidiées. À l'approche des tubes, cette orientation privilégiée disparaît; hyphes génératrices et squelettiques sont étroitement enchevêtrées (fig. 7,A). Les hyphes génératrices ont une paroi tantôt mince, tantôt fortement épaissie jusqu'à obturation complète; incrustations fréquentes. Présence de très nombreuses ramifications secondaires, simples, arbusculaires ou coralloïdes formant des enchevêtrements denses. Ces ramifications sont en général complètement obturées, fortement congophiles et non métachromatiques (fig. 7,B). Les hyphes squelettiques à paroi fortement épaissie, hyaline, non congophile,

métachromatique, sont en général sinueuses et irrégulières, parfois légèrement branchues  $\times 2,5-4,5 \mu\text{m}$ . Dans les dissépiments, ces hyphes squelettiques sont peu nombreuses par rapport aux hyphes génératrices et de ce fait difficiles à observer. Les hyphes génératrices sont cohérentes, à paroi mince, de faible calibre  $\times 1,5-2,5 \mu\text{m}$ , assez régulières et très ramifiées. Elles portent des incrustations nombreuses vers l'extrémité des dissépiments. Pas de sous-hyménium différencié. Basides claviformes ou légèrement urniformes de petite taille  $7,5-11 \times 3,5-4-5 \mu\text{m}$ , quatre stérigmates de longueur variable  $\times 3-5 \mu\text{m}$ . Cystidioles peu nombreuses, en alène, souvent mucronées (fig. 7,C). Spores allantoïdes aux parois minces hyalines non amyloïdes, acyanophiles (3)-3,5-4-(4,2)  $\times 0,7-0,9 \mu\text{m}$  (fig. 7,D). Sporée blanche.

**Remarque** : cette espèce est généralement décrite comme trimitique; or d'une part les bouquets coralloïdes, fortement congophiles, constitués d'hyphes pleines nous paraissent différents des hyphes conjonctives typiques présentes dans les espèces du genre *Coriolus*, d'autre part ils paraissent très comparables, bien que beaucoup plus développés, aux bourgeons congophiles observés dans nombre d'espèces de *Skeletocutis*, notamment *S. tschulymica*. Il nous a paru injustifié de juger la première trimitique, la seconde dimitique.

**Récoltes** : LY-AD 139, sur tronc de *Carpinus*, Tramayes, Saône et Loire, 15-08-1965; LY-AD 216, sur *Fraxinus*, Crémieux, Isère, 30-12-1965; LY-AD 322, sur *Carpinus*, Chartreuse de Portes, Ain 23-10-1966; LY-AD 778 sur *Carpinus*, Forêt de la Rena, Ain,

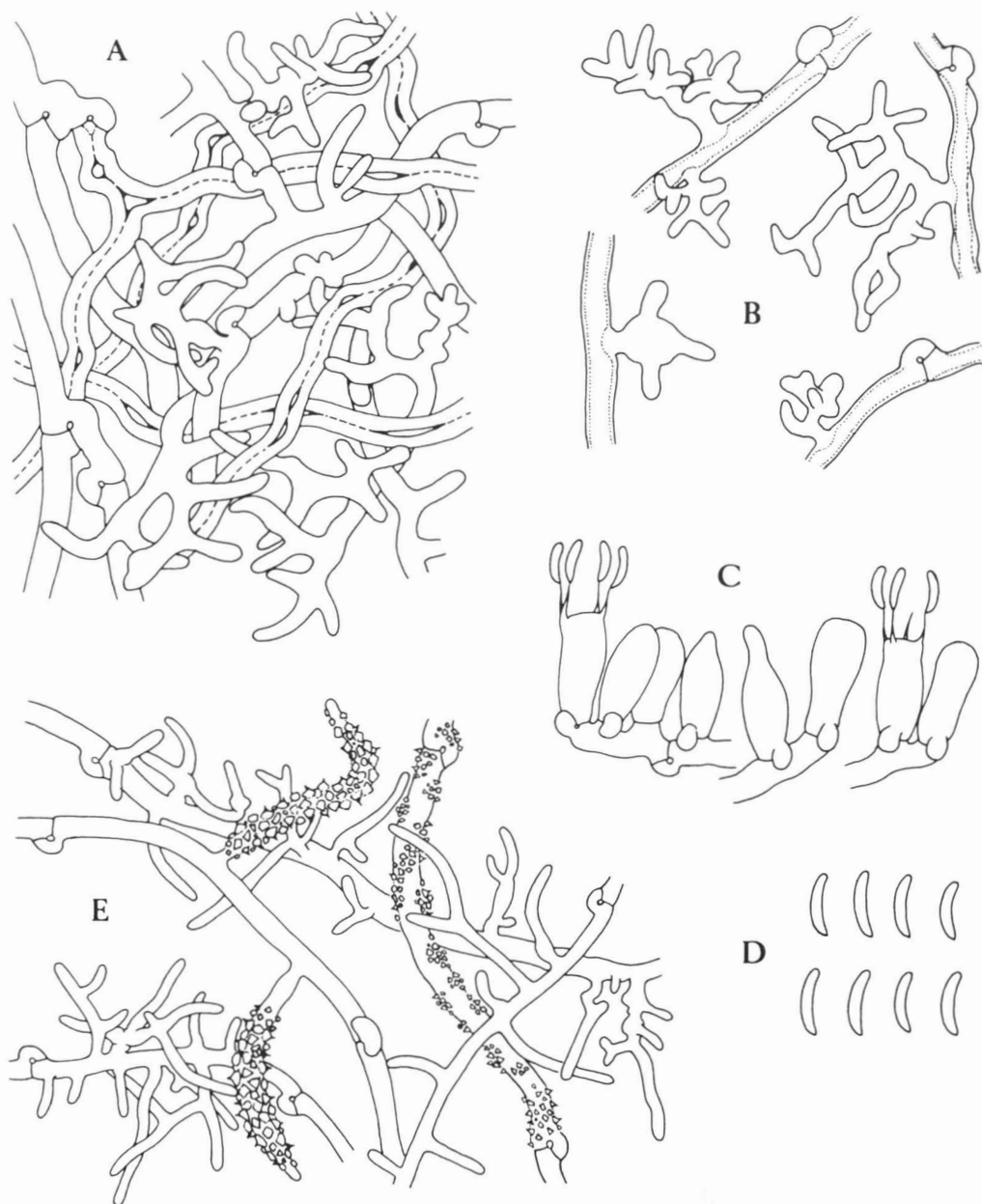


Figure 7. *Skeletocutis nivea* (Jungh.) Keller (A, B, C, D: LY-AD 3696, E: LY-AD 322). A. Hyphes du contexte (zone contiguë aux tubes) ( $\times 1000$ ); B. Ramifications arbusculeuses (détail) ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1000$ ).

12-10-1969; LY-AD 3715, sur *Betula*, Forêt de la Ferté, Saône et Loire, 20-08-1979.

*Habitat*: espèce très commune sur petites branches mortes à terre de divers feuillus: *Carpinus*, *Corylus* etc., Pourriture blanche.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

L'étude du mycélium dicaryotique a déjà été faite par différents auteurs (Nobles, 1948; Bakshi *et al.*, 1969; Stalpers, 1978). Nous la compléterons par l'étude cytologique, le comportement nucléaire et la polarité.

*Germinations et mycéliums monospores*: les spores uninucléées germent 15-20 jours après leur dispersion. Les articles, principalement l'article terminal sont cénocytiques. Ci-dessous quelques relevés faits à partir de l'article terminal.

LY-AD 139	LY-AD 216
14-4-2-2-3	8-2-3-4-1
10-2-4-4-2-2	7-2-2-2-2
8-2-2-1	6-2-1-1

*Polarité*: l'espèce est tétrapolaire.

LY-AD 322	
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 1	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 4-6-7-9-10
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 2-5	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> 3-8

*Polysperme*: nos observations sont en accord avec les descriptions des auteurs cités ci-dessus. Rappelons en l'essentiel: croissance très lente, extrémités d'hyphes génératrices incrustées (fig. 7,E), production d'oxydases.

*Comportement nucléaire*: espèce hétérocytique.

*Code*: 2-3-9-12-32-36-38-39-47-(48)-54-55-60-63.

*Affinités*: *Skeletocutis nivea* est une espèce très affine à *Skeletocutis stellae*. Elle s'en distingue par le fait qu'elle est souvent dimidiée, qu'elle croît généralement sur feuillus, que les hyphes coralloïdes y sont beaucoup plus nombreuses et que les hyphes squelettiques de la trame sont difficiles à observer, de sorte que, de prime abord, celle-ci paraît monomitique. Bien entendu les confrontations effectuées entre les monospores de ces deux espèces se sont révélées négatives.

*Skeletocutis papyracea* sp. nov.

DESCRIPTION DES CARPOPHORES

*Carpophori in parvas laminas rotunda, expansi, cum conflunt usque ad 2-3 cm latas et 0,1 cm crassas. Poris albis, dein leviter alutaceis, angulosis, per mm 3-4; dissepimentis tenuissimis, pruinosis, saepe fimbriatis; margine alba, fimbriata 0,5-1 mm lata; subiculo tenuissimo, minus lato quam 0,1 mm, albo; tubulis concoloribus, 1 mm altis. Textura dimitica: hyphis genetricibus incrustatis, praesertim in trama et circum ora tubulorum; hyphis skeleticis ope KOH (5%) fere omnino deletis. Cystidiolis multis, subulatis, sporis cylindricis arcuatis, 4,5-5,5 x 1,5-1,8 μm, nec amyloideis, nec cyanophylis — Holotypus: LY-AD 3570, Herb. A. David, Lyon.*

Carpophores étalés en petites plaques circulaires atteignant par confluence 10-15 cm de long sur 2-3 de large et 0,1 cm de hauteur se détachant facilement du support. Marge blanche, fimbriée, large de 0,5-1 mm. Pores blancs puis légèrement alutacés, papyracés, anguleux, 3-4 par mm; dissepiments très minces, fimbriés, givrés. Subiculum extrêmement mince, inférieur à 0,1 mm, blanc, parfois duplex avec une couche basale cornée; tubes jusqu'à 0,9-1 mm.

*Système dimitique*: subiculum très mince de texture dense, constitué d'hyphes fortement cohérentes, orientées parallèlement à la surface du support mais non parallèles entre elles. Les hyphes génératrices bouclées à paroi plus ou moins épaissie sont flexueuses, un peu irrégulières, modérément ramifiées. Certaines d'entre elles présentent des incrustations, d'autres portent de nombreux petits rameaux, bourgeons ou excroissances très généralement congophiles (fig. 8,A). Les hyphes squelettiques, peu nombreuses par rapport aux précédentes, métachromatiques, réfringentes, régulières ont une paroi très épaissie réduisant le conduit à un fin canalicule central. Cette paroi épaissie a la particularité de gonfler fortement dans les solutions de potasse ou d'ammoniacale jusqu'à dissolution partielle. Ce caractère se retrouve chez les hyphes squelettiques des dissepiments, qui sont très nombreuses et occupent la plus grande partie de la trame (fig. 8,B). Dans la trame, les hyphes génératrices bouclées ont une paroi mince ou légèrement épaissie, et sont peu ramifiées sauf sous l'hyménium. Au niveau de l'orifice des tubes, leurs extrémités sont incrustées (pl. II,A). À l'opposé du subiculum, la trame a une consistance tendre, caractère sans doute lié à la forte proportion d'hyphes squelettiques et à la nature très spéciale de leur paroi. Pas de sous-hyménium différencié. Basides claviformes (9)-10-15 x 4-5 μm, quatre stérigmates de 3,5-5 μm de long. Cystidioles nombreuses, en alène ou mucronées, de même taille que les basides (fig. 8,C). Spores cylindriques arquées (4,2) 4,5-5(6) x 1,5-1,8 μm aux parois minces, hyalines, IKI —, acyanophiles (fig. 8,D). Sporee blanche.

*Récoltes françaises*: LY-AD 3570, sur tronc couché de *Pinus silvestris*, lieu dit Pupanain, Husson, Haute Loire, 3-08-78, Holotype. LY-AD 4251, sur tronc de *Cedrus*, Massif des Cèdres (Sud Ventoux), Vaucluse, 9-11-1981.

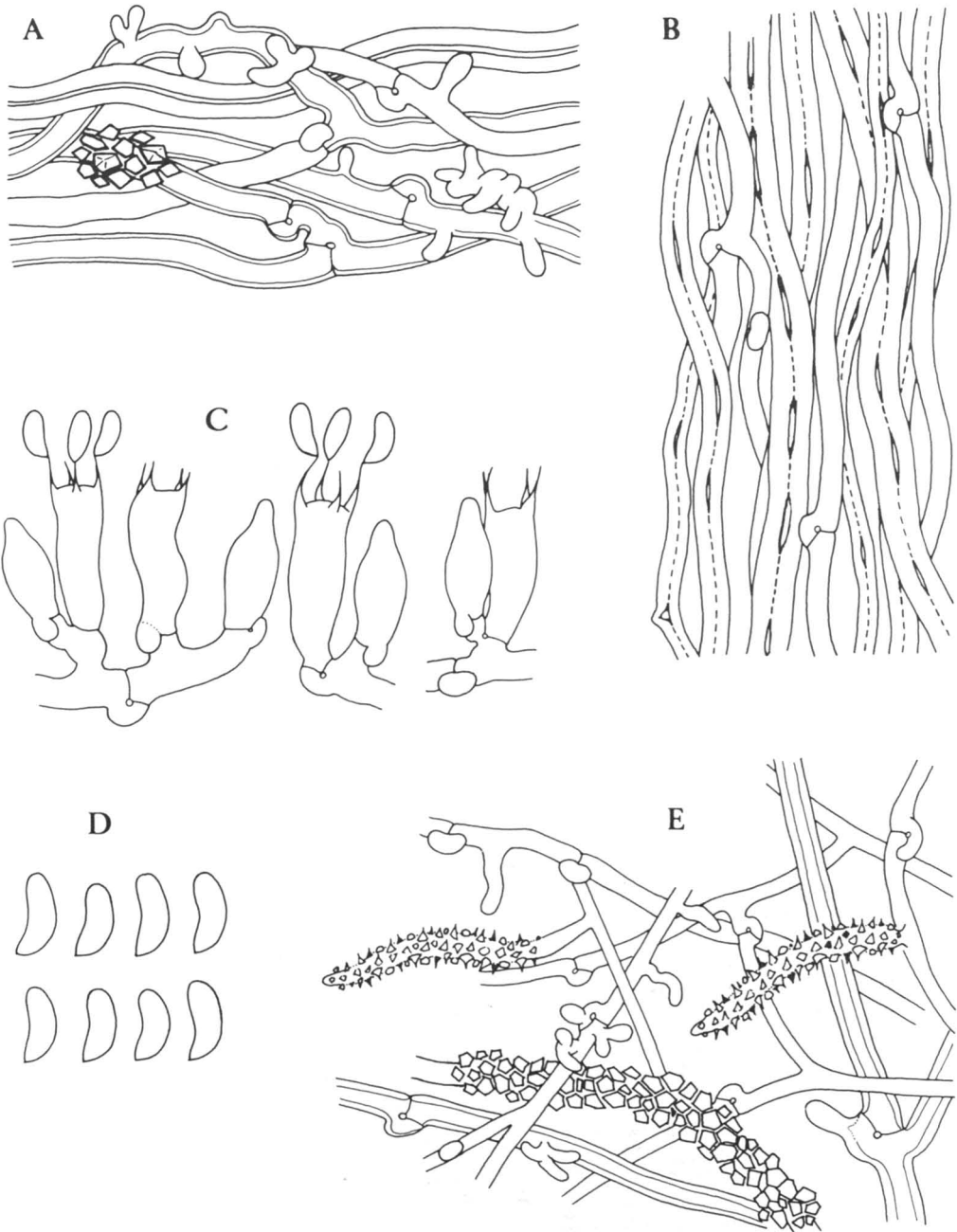


Figure 8. *Skeletocutis papyracea* sp. nov. (A, B: LY-AD 605; C, D, E: LY-AD 3570) A. Hyphes du subiculum ( $\times 1000$ ); B. Hyphes des dissépients ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1000$ ).

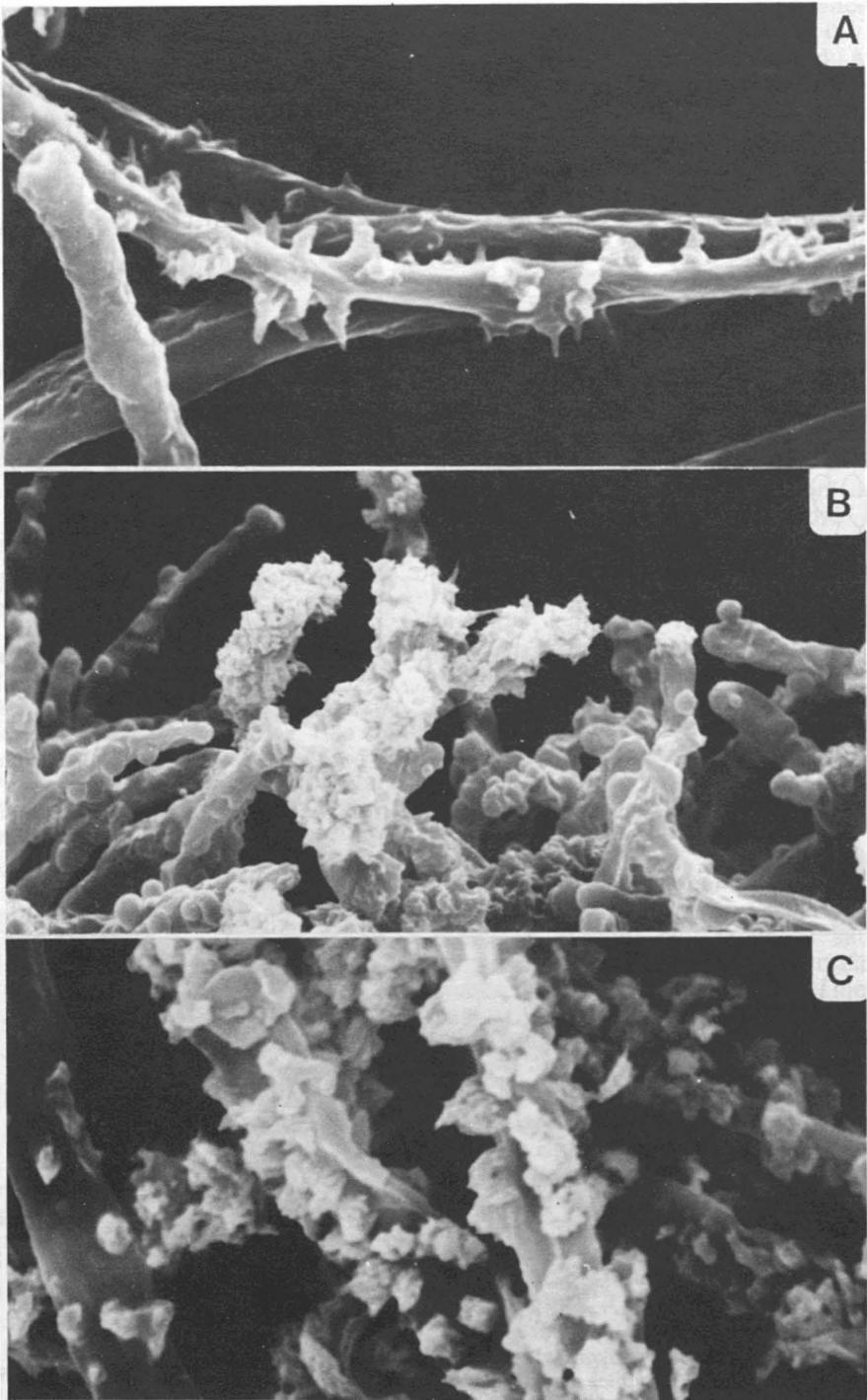


Planche II. Hyphes incrustées situées à la marge des dissépients, observées au microscope électronique à balayage. G. x 3300. Cliché: R. Hugueney. A. *Skeletocutis papyracea* sp. nov.; B. *Skeletocutis portrosensis* sp. nov.; C. *Skeletocutis subsphaerospora* sp. nov.



Autres récoltes : LY-AD 605, sur conifère, Maria Rain, Autriche, Septembre 1968 ; LY-AD 4067, sur *Abies*, Plitvice, leg. M. et S. Tortić, 13-08-1980.

## ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

*Germinations et mycéliums monospermes* : les spores uninucléées germent environ trois semaines après leur dispersion. Les articles des mycéliums monospermes sont légèrement cénocytiques.

LY-AD 605	LY-AD 3570
7-2-2-2-1-1-1	5-2-2-2-1-1
5-2-2-1-1-2-1	4-2-2-1-1-1
2-1-2-1-3-1	2-2-2-1-1-1

*Polarité* : l'espèce est apparemment tétrapolaire : seuls trois pôles ont été isolés à partir de la récolte 3570.

A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 1-4-5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 9
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 2-6-7	

*Polysperme* :

*Croissance*. — Lente (boîte de Pétri de 9 cm de diamètre remplie en 6 semaines).

*Aspect*. — Mycélium aérien peu développé, duveteux lâche, laissant voir le milieu par transparence, plus dense et feutré vers la subculture. Blanc, odeur très faible, fruité. Dessous inchangé.

*Microscopie*. — Hyphes génératrices régulières, bouclées, x (1,5)-2-4-(5) μm à paroi mince (hyphes de faible calibre) ou irrégulièrement épaissies, ces dernières portant parfois de courts rameaux obturés, congophiles, isolés ou en bouquets. Nombreuses hyphes incrustées sur une longueur de 100-200 μm ou seulement à l'extrémité des rameaux. Amas de gros cristaux, plus ou moins cubiques, soit libres, soit formant gaine autour des hyphes, (fig. 8,E). Mycélium immergé identique à part la raréfaction des incrustations.

*Cytologie*. — Articles du mycélium polysperme binucléés.

*Oxydases*. —

Gaïacol :	0,2‰	+++	0
	2‰	+++	0
Acide gallique :		+++++	0
Paracrésol :		—	0
Tyrosine :		—	0

*Comportement nucléaire*. — Espèce hétérocytique.

Code : 2-3-9-12-32-36-38-46-50-55-60-63.

*Affinités* : cette espèce est très affine à *S. subincarnata* dont elle se distingue essentiellement par la réaction des hyphes squelettiques en présence des solutions alcalines ainsi que par ses spores légèrement plus courtes. Rappelons cependant qu'un début de gonflement est également observé chez *S. tschulymica*. Cette propriété qu'ont les hyphes squelettiques de gonfler dans KOH se retrouve dans *Poria lindbladii* espèce aux affinités jusqu'à présent mal connues et, de ce fait, reléguée dans le genre *Poria*.

Les confrontations effectuées entre les monospermes des récoltes de *S. papyracea* n° 605, 3570 et 4067 sont positives ; par contre toutes celles effectuées entre ces mêmes monospermes et les monospermes de *S. albocrema* n° 552, *S. kuehneri* n° 765, *S. subincarnata* n° 433 et *S. tschulymica* n° 3713 sont négatives.

*Skeletocutis percandida*  
(Malenç. & Bert.) Keller

*Poria percandida* Malençon & Bertault in Acta Phyt. Barcin., 8 : 35, 1971. — *Incrustoporia percandida* (Malenç. & Bert.) Ryv. in Cuad. Bot. Canar., 20 : 5, 1974.

## DESCRIPTION DES CARPOPHORES

L'espèce ayant été très bien décrite par les auteurs, nous nous permettons avec leur permission de la reproduire. Les dessins des spores et des basides résultent de nos observations personnelles. « Annuel, étalé sur souches ou grosses branches en plaques faiblement pulvinées, arrondies, irrégulières, elliptiques, ou étiré en longues bandes étroites (p. ex. 40-80-120 × 10-15 mm) vite confluentes bout à bout, à la face inférieure des branchettes gisantes ; peu adhérent, légèrement soulevé même sur les bords dans la vieillesse, mince, monostrate ou très exceptionnellement stratifié. Blanc pur éclatant étant jeune et sur le frais, puis lacté, crème ocré ou crème saumoné clair, ocre roux clair en herbier, la marge restant blanche, d'abord bien nette, large de 3-5 mm, apprimée, cotonneuse, souvent prolongée de fins cordons mycéliens blancs pouvant atteindre 20 cm de long et gagner les branches voisines, ensuite réduite et presque oblitérée avec l'âge. Subiculum souple sur le frais, subcoriace à sec, blanc, mince : 0,25-1 mm ; tubes courts : 0,50-1 mm ; pores petits, 5-6 par mm, arrondis à subanguleux, à parois minces et orifices scabres ou granuleux sous la loupe. Chair insipide.

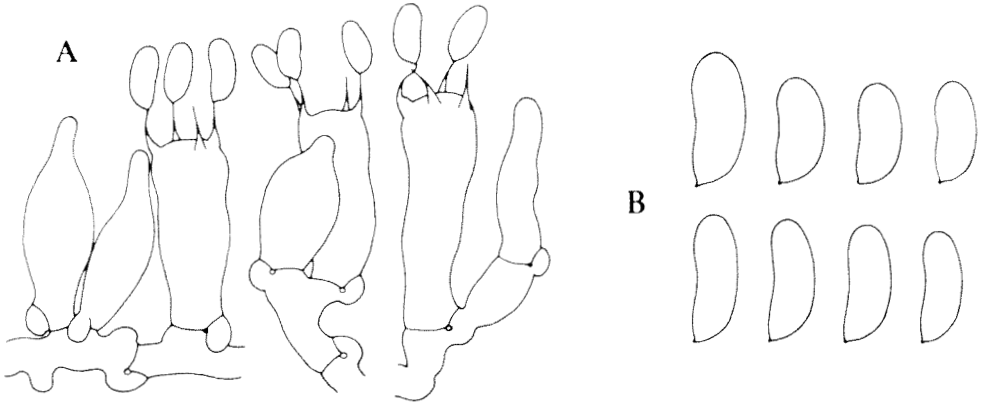


Figure 9. *Skeletocutis percardida* (Malenç. & Bert.) Keller (LY-AD 3097) A. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); B. Spores ( $\times 2000$ ).

**Structure dimitique:** hyphes subcylindriques lâches, couchées-entrecroisées, peu rameuses, solides, hyalines, non septées et non amyloïdes ni dextrinoïdes, larges de 2,5-3  $\mu\text{m}$  pour la plupart. Trame des tubes régulière ou subrégulière formée d'éléments identiques à ceux du subiculum mais dressés et cohérents, faisant saillie à l'orifice des pores en courts poils banaux aux parois sensiblement amincies, rectilignes puis vite contournées irrégulièrement et chargées de fines granulations réfringentes. Hyphes basidiogènes de 2-3  $\mu\text{m}$  de diamètre, non amyloïdes, ramifiées sous angles très ouverts, à parois minces et cloisons fréquentes munies de boucles. Hyménium dépourvu de cystides vraies mais pouvant montrer des cystidioles du type fusiforme ou lagéniforme, nues, incluses ou peu saillantes et, de place en place, quelques massifs pileux émergents et stériles. Basides ovalaires puis piriformes ou claviformes, 15-20  $\times$  6-6,5  $\mu\text{m}$  (fig. 9,A), stérigmates de 4  $\mu\text{m}$  de haut, fins et rigides. Spores hyalines, lisses, non amyloïdes ni dextrinoïdes, cylindracées, à face dorsale plane et extrémité arrondies, droites ou faiblement arquées: 4-7 (8,5)  $\times$  2-2,75-3  $\mu\text{m}$  (fig. 9,B). Avec l'âge, les parois de toutes les hyphes se couvrent peu à peu de petites granulations réfringentes, qui deviennent de plus en plus nombreuses jusqu'à former un véritable manchon.»

**Récoltes:** LY-AD 535 sur écorce de *Picea*, Turini, Alpes Maritimes, 5-10-1967; LY-AD 3097, sur petites branches à terre de *Pinus*, Collobrières, Var, 30-12-1972; LY-AD 4071 sur bois travaillé de *Pinus*, Forêt de Janas, Var, 2-1-1981; dans la même forêt à la même période extrêmement fréquent sur grosses

branches, branchettes et débris ligneux de toute nature, *Pinus*, *Erica arborea*... Cette espèce est extrêmement répandue dans la partie occidentale du bassin méditerranéen puisqu'elle existe en Espagne et au Maghreb (Tunisie, Maroc). Une récolte effectuée aux îles d'Hyères (Port-Cros) par A. de Crozals a été déterminée par Bourdot comme *Poria calcea* var. *fragilis* Bourd. & Galz. f. *biguttulata* Romell. Cet auteur écrit au sujet de cette même espèce: «abondant dans l'île de Port Cros (Var) sur chêne vert, *Erica arborea*, ciste, arbousier».

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

Nous rappellerons simplement l'essentiel des résultats déjà publiés (David, 1971). *Skeletocutis percardida* est une espèce tétrapolaire à comportement hétérocytique. Le mycélium a une forte odeur nauséuse et sécrète de la laccase, certaines de ses hyphes sont gainées de cristaux (typiques du genre) sur de grandes longueurs.

**Code:** 2-3-9-12-32-36-38-43-50-54-55-60-63.

**Remarque:** *Skeletocutis percardida* est une espèce facile à reconnaître par ses cordons rhizomorphiques et par ses spores plus grosses que celles des autres espèces de *Skeletocutis* connues à ce jour.

#### *Skeletocutis portcrossensis*<sup>3</sup> sp. nov.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

*Carpophori resupinati, albi vel e rosei cremei, maxime adhaerentes, tenuissimis,*

<sup>3</sup> Espèce type trouvée dans l'île de Port Cros, Var, France.

usque ad 3 mm. Margine fugaci, pulverulenta; poris rotundatis, 3-4 per mm; dissepimentis integris. Subiculum 0,1-0,2 mm, ± cornea, obscure brunnea, monomitica; hyphis generatricibus fibulatis, incrustatis, praesertim in extrema parte tramae multis, circum poros; cystidiolis praesentibus; sporis cylindratis, arcuatis, 4-5 × 1,4-1,8 μm. — Holotypus LY-AD 3493, Herb. A. David, Lyon.

Carpophores résupinés, blancs à crème rosé clair, fortement adhérents, extrêmement minces (0,3 mm d'épaisseur au maximum). Marge blanche fugace, poudreuse. Pores arrondis 3-4 par mm; dissépiments entiers. Contexte extrêmement mince, 0,1 à 0,2 mm, parfois même moins, de consistance plus ou moins cornée, brun foncé.

*Structure monomitique*: partie principale du subiculum constituée d'hyphes génératrices bouclées à paroi mince, assez régulières, très étroitement accolées entre elles et parallèles au substratum, × 2-4(5) μm (fig. 10,A). Tout au contact du substratum, on observe fréquemment une mince couche d'hyphes plus irrégulières, enchevêtrées. Dissépiments formés d'hyphes génératrices plus étroites × 1,5-2,5 (3) μm, régulières, sinueuses, très ramifiées. Pas de sous-hyménium différencié. À l'extrémité des dissépiments et bordant les pores, on observe de très nombreuses hyphes incrustées (fig. 10,B, Pl. II,B). Les hyphes du contexte et de la trame gonflent au contact de l'ammoniaque. Basides claviformes, assez souvent avec un pied (podobasides), (8)-10-12 (14) × 4,5-5 μm, à quatre stérigmates relativement longs, × 4-5 μm. Cystidioles, 8-12 × 3-5 μm (fig. 10,C). Spores cylindriques courbées 4-5 × 1,4-1,8 μm (fig. 10,D).

*Récoltes*: LY-AD 3493 sur tronc de *Pinus* écorcé encore pourri, La Sardinière, Port Cros, Var, 31-10-1977; holotype, LY-AD 3537 et 3539, même lieu, même jour.

*Remarque*: tout comme *S. azorica*, cette espèce diffère des autres espèces de *Skeletocutis* par sa structure monomitique. Elle se distingue de l'espèce des Açores par la taille des pores et par les spores. Morphologiquement, elle ressemble à *S. albocrema* mais s'en distingue par le mitisme. Elle est souvent accompagnée d'un champignon Corticiaceae du genre *Tubulicrinis*.

*Germinations et mycéliums monospermes*: les spores uninucléées germent deux à trois semaines après leur dispersion. Les monospermes sont constitués d'articles cénocytiques. Ci-dessous quelques relevés faits à partir de l'article terminal.

LY-AD 3537	LY-AD 3539
7-2-2-2-1-1-1	7-2-2-2-1-1
7-2-1-1-1-1-1	5-2-2-2-1-1
3-2-21-1-1-1-1	1-1-1-1-1-1

*Polarité*: à partir des 3 récoltes, nous n'avons obtenu que peu de germinations avec un maximum de sept pour la récolte 3493. Toutes les confrontations effectuées entre ces 7 monospermes se sont révélées négatives.

*Polysperme*:

*Croissance*. — Très lente, 6 à 7 cm en six semaines.

*Aspect*. — Marge régulière, mycélium aérien peu développé, duveteux lâche, laissant voir le milieu par transparence puis farineux, enfin cotonneux feutré blanc vers l'inoculum. Légère odeur aromatique, dessous inchangé.

*Microscopie*. — Marge constituée d'hyphes rectilignes × 3 μm, à cloisons simples avec ramifications beaucoup plus fines × 1,5-2 μm portant elles-mêmes de courts rameaux perpendiculaires. Les hyphes bouclées apparaissent à 1 cm de la marge. Le mycélium plus âgé est formé d'hyphes rectilignes peu ramifiées × 4-5 μm, aux parois épaissies irrégulièrement et alors légèrement congophiles, portant de très nombreux et courts rameaux. Les incrustations recouvrent les hyphes grêles sur de grandes longueurs ou bien seulement à leur extrémité (fig. 10,E). Le mycélium profond est identique à part l'absence d'incrustations.

*Cytologie*. — Les articles du polysperme sont binucléés.

*Oxydases*. —

Gaiacol:	0,2‰	++++	0
	2‰	+	0
Acide gallique:		+++++	0
Tyrosine:		—	0
Paracrésol:		—	0

*Comportement nucléaire*: espèce hétérocytique.

*Code*: 2-4-9-12-32-36-38-47-50-55-58-63.

*Skeletocutis stellae* (Pilát ex Pilát) Keller

*Poria stellae* Pilát in Atl. Polyp., 464, 1941. — *Poria stellae* Pilát in Sborn Nar. Mus. Praha, 1XB, 2: 107.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

*Récoltes étudiées*: LY-AD 3493, 3537 et 3539.

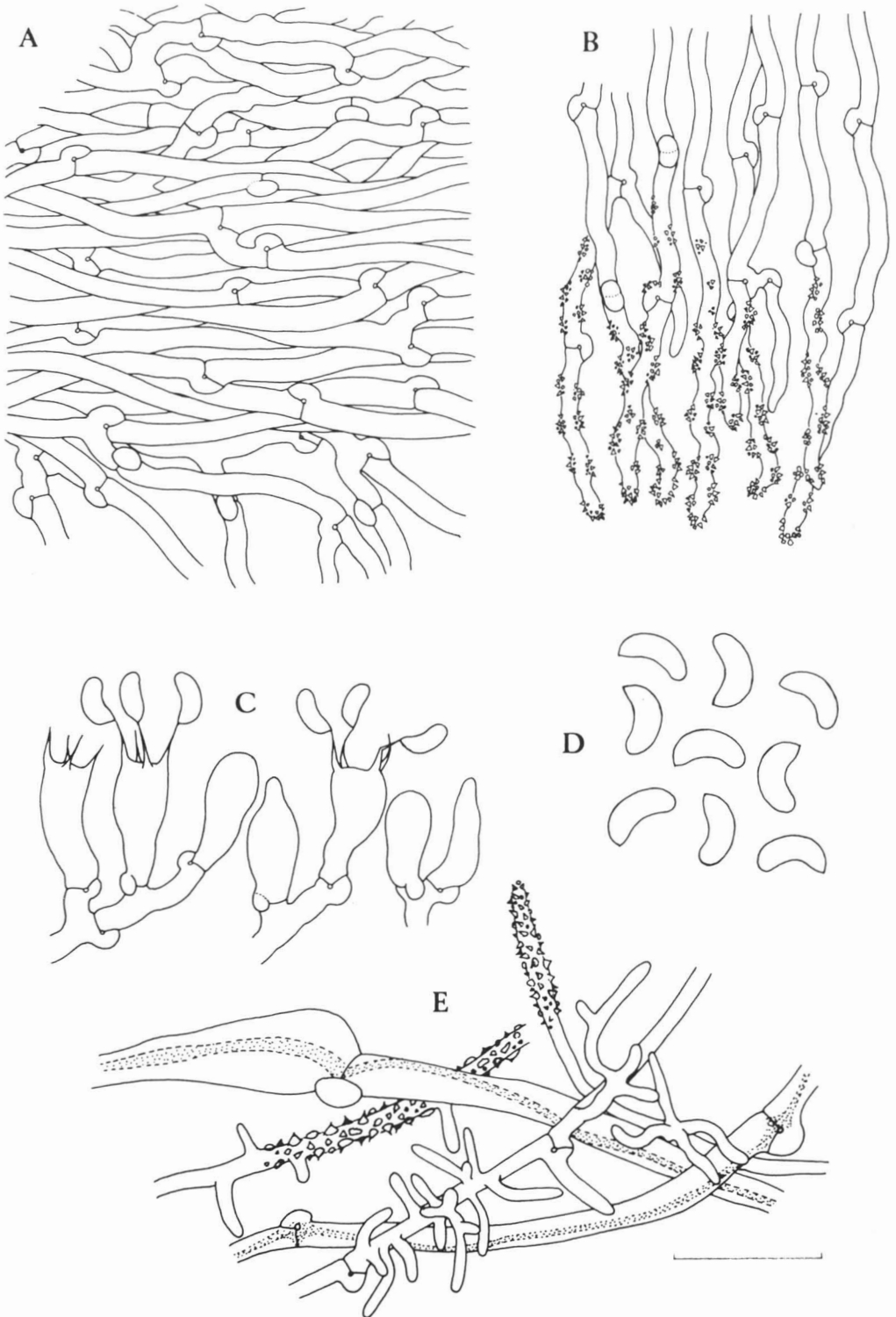


Figure 10. *Skeletocutis portrosensis* sp. nov. (LY-AD 3493) A. Hyphes du subiculum ( $\times 1000$ ); B. Hyphes de l'extrémité des dissipiments ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1200$ ).

1953. — *Incrustoporia stellae* (Pilát ex Pilát) Domanski  
in Acta Soc. Bot. Pol., 32 : 737, 1963.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Carpophores pérennes, largement étalés, adhérents, formant des plaques de plusieurs décimètres de longueur jusqu'à 1 à 2 cm d'épaisseur. Marge stérile blanche cotonneuse feutrée souvent en bourrelet, parfois étalée, large de 1 à 5 mm. Pores petits 5-6 par mm, blancs dans la jeunesse puis crè-

mes ou grisâtres, arrondis à subanguleux; dissépinents minces, vilieux. Subiculum blanc pur, même sur exsiccata, 0,1 à 2 mm d'épaisseur. Tubes concolores aux pores souvent stratifiés.

*Système dimitique.* Subiculum: au contact du substrat et épousant les sinuosités on observe une mince couche d'hyphes très cohérentes et de même orientation. Ce sont essentiellement des hyphes génératrices à paroi mince, bouclées,  $\times 2-3,5$

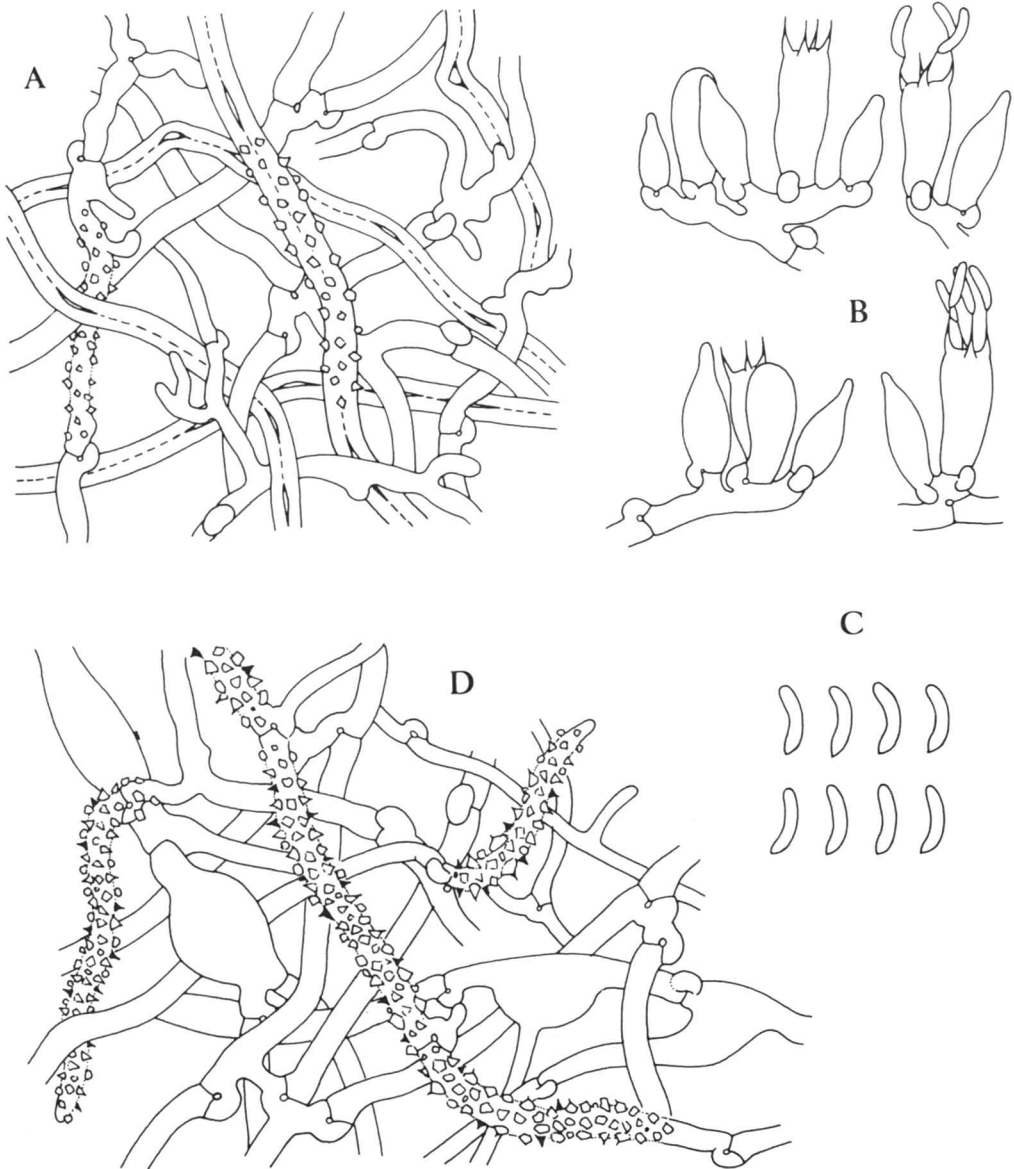


Figure 11. *Skeletocutis stellae* (Pilát ex Pilát) Keller (LY-AD 3363) A. Hyphes du contexte ( $\times 1000$ ); B. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); C. Spores ( $\times 2000$ ); D. Mycélium en culture ( $\times 1000$ );

$\mu\text{m}$  auxquelles s'ajoutent quelques hyphes squelettiques; mais l'essentiel du contexte est constitué d'hyphes génératrices et squelettiques très enchevêtrées et se redressant en direction des tubes. Les hyphes génératrices portent des ramifications courtes, bourgeons ou nodules fortement colorables au rouge congo. Elles présentent çà et là des incrustations (fig. 11.A). Dissépiments également dimitiques avec hyphes orientées parallèlement à l'axe des tubes. Les incrustations sont ici bien plus nombreuses que dans le subiculum, surtout sur les hyphes émergeant de l'hyménium; en bordure des pores, incrustations également très nombreuses. Sous-hyménium peu développé, basides 8-10 (13)  $\times$  4-4,5  $\mu\text{m}$ ; cystidioles subulées très nombreuses, 9-12  $\times$  3-4,5  $\mu\text{m}$  (fig. 11.B); spores hyalines, allantoides, non amyloïdes et acyanophiles, 3,7-4  $\times$  0,7-0,9  $\mu\text{m}$  (fig. 11.C). Sporée blanche.

**Récoltes:** LY-AD 3134 sur *Picea*, Almsee, région de Scharnstein, Autriche, Septembre 1973; LY-AD 3363 sur *Picea*, Yougoslavie, leg. M. Tortić, Octobre 1976.

**Autres exsiccata observés:** collection J. L. Lowe, *Poria stellae* Pilát on red spruce, Newcom, New York State n° 12214, October 1, 1961; collection Kotlaba & Pouzar, *Poria stellae* Pil. ex Pil. sur *Picea abies* Boubin (*Silva virginiana*), 13-5-1964; collection Niemelä, *Incrustoporia stellae* (Pil.) Dom. sur tronc tombé de *Picea abies*, Finland: Rovaniemi, Pisavaara, National Park, 19-8-1970.

**Habitat:** sur conifères, essentiellement sur *Picea*; cause une pourriture blanche.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

Les récoltes 3134 et 3363 un peu vieilles n'ont pas sporulé. Les mycéliums secondaires ont donc été obtenus par boutures et les mycéliums primaires par débouclage du mycélium secondaire après passage sur milieu à la bile. Spores uninucléées.

**Mycélium primaire:** constitué d'articles cénocytiques. Ci-dessous quelques relevés faits à partir de l'article terminal:

LY-AD 3134	LY-AD 3363
45-2-2-10-2-1	30-4-2-2-1-2
42-2-8-2-6-2-5	27-2-2-2-2-4
22-2-2-2-2-3	19-1-4-3-4-4-2

La polarité n'a pu être établie à cause du petit nombre de néohaplontes obtenus.

**Polysperme:** (en réalité le mycélium obtenu par bouturage)

**Croissance.** — Lente (boîte de 9 cm de diamètre remplie en 6 semaines)

**Aspect.** — Marge irrégulière, plongeante, plus ou moins dendroïde lorsqu'observée par transparence; mycélium appliqué (à la loupe, velouté ras et lâche) laissant voir le milieu par transparence. Réseau lâche et irrégulier constitué de fines veinules blanches; plaques poudreuses de ci de là, milieu gélosé coloré sous et autour de la subculture. Odeur légèrement nauséuse.

**Microscopie.** — Marge formée d'hyphes, régulières, bouclées de 3  $\mu\text{m}$  de large; dans le mycélium plus âgé ces hyphes sont gainées de cristaux sur de grandes longueurs ou juste à leur extrémité. Rares hyphes de très fort calibre souvent très irrégulières et boursoufflées, aux parois épaissies et légèrement congophiles (fig. 11.D). Milieu de culture imprégné de mycélium de texture élastique. Coloration du milieu due à des hyphes au contenu réfringent, jaune or; ces plaques colorées sont très résistantes à l'écrasement.

**Cytologie.** — Hyphes du mycélium secondaire constituées d'articles binucléés et bouclés.

**Oxydases.** —

Gaïacol:	0,2‰	+++++	, 1cm
	2‰	+	0
Acide gallique:		+++++	tr.
Tyrosine:		+	, 0
Paracrésol:		-	, 0

**Comportement nucléaire:** hétérocytique.

**Code:** 2-3-9-12-32-34-38-46-50-55-58-63

#### *Skeletocutis subincarnata* (Peck) Domanski

*Poria attenuata* Peck var. *subincarnata* Peck in A. Rep. N. Y. St. Mus., 48: 118, 1895. — *Poria subincarnata* (Peck) Murr. in Mycologia, 13: 86, 1921. — *Incrustoporia subincarnata* (Peck) Domanski in Acta Soc. Bot. Pol., 32: 737, 1963. — *Poria calcea* var. *fragilis* Bourd. & Galz. f. *Poria biguttula* Romeli, Bourd. & Galz. in Hyménomycètes de France, 675, p. 1928.

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Carpophores annuels, étalés, d'abord petits puis pouvant s'étendre sur plusieurs décimètres de longueur, minces,  $\times$  1,5-2 mm d'épaisseur, blancs à l'état jeune, crème rosâtres à ocracés très clair en vieillissant. Marge stérile blanche, beaucoup plus rarement concolore à la surface porée, duveteuse, irrégulière, souvent fugace et même absente, ou au contraire formant de très fins cordons rhizomorphiques. Consistance

coriace sur le frais, devenant cornée et fragile sur le sec. Pores petits, 5-6 par mm; dissépinements minces, plus ou moins fimbriés. Subiculum blanc très mince ou subnul, présentant parfois une très fine couche cornée au contact du substratum.

*Système dimittique.* Subiculum constitué de deux couches de textures différentes: une couche au contact du support où les hyphes sont parallèles entre elles et une couche proche des tubes, où les hyphes sont très emmêlées. Ces hyphes bouclées ont les unes une paroi mince, les autres une paroi moyennement ou très fortement épaissie,  $\times 1,5-4,5 \mu\text{m}$ , non colorable au rouge congo. Les hyphes à paroi mince ou modérément épaissie présentent de nombreux segments et rameaux, bourgeons ou nodules fortement colorables au rouge congo, comme d'ailleurs les anses d'anastomose, (fig. 12,A). Dans la trame, les hyphes orientées parallèlement à l'axe des dissépinements sont de deux types: les unes à paroi très épaissie non colorable au rouge congo, parfois légèrement amyloïdes, sont dépourvues de cloisons, régulières, peu ou pas ramifiées,  $\times (2,5)-3-4-(5) \mu\text{m}$ , en continuité avec les hyphes épaissies et bouclées du subiculum. On peut les considérer comme de véritables hyphes squelettiques vu l'épaississement et l'absence de cloisons sur une très grande longueur; les autres hyphes de plus faible calibre,  $\times 1,5-2,5-(3) \mu\text{m}$ , sont régulièrement bouclées, à paroi mince ou épaissie, régulières, ramifiées. Ce sont elles qui portent des incrustations vers l'extrémité des dissépinements (fig. 12,B). Le sous-hyménium est constitué d'articles à paroi mince, courts, plus ou moins déformés, contournés, grêles,  $\times 1,5-2,5 \mu\text{m}$ , portant fréquemment de petits bourgeons colorables au rouge congo tout comme les anses d'anastomose. Basides claviformes,  $10-12 \times 4-5 \mu\text{m}$ , à quatre stérigmates longs de 3 à  $4,5 \mu\text{m}$ ; cystidioles nombreuses,  $12-16 \times (3)-4,5 \mu\text{m}$ , (fig. 12,C). Spores hyalines non dextrinoïdes ni cyanophiles, cylindriques, légèrement arquées  $(4,5)-5-6-(6,3) \times 1,5-1,7 \mu\text{m}$  (fig. 12,D).

*Récoltes:* LY-AD 433, sur écorce de *Picea excelsa*, Oyonnax, Ain, 24-08-1967; LY-AD 3598 sur *Pinus silvestris*, région de Sidobre (Sud Castres), Tarn, 5-10-1978; LY-AD 3852, sur tronc très pourri de *Pinus silvestris*, Toussieu, Annonay, Ardèche, 21-11-1979; LY-AD 3921, sur tronc de *Pinus silvestris*, forêt de la Hardt près de Habsheim, Haut Rhin, leg. Rastetter, 29-02-1980; LY-AD 3938 sur tronc au sol de *Pinus pinaster* ou *sil-*

*vestris*, forêt de Boquen, Lanvalle, Bretagne, leg. Gaignon, 18-04-1980.

*Habitat:* sur troncs ou branches mortes de conifères; provoque une pourriture blanche.

#### ÉTUDE DES MYCÉLIUMS

Observations faites sur les souches LY-AD n° 433, 3598 et 3921.

*Germinations et mycéliums monospermes.* Les spores uninucléées germent au bout de 15-20 jours et donnent naissance à des hyphes dont les articles sont cénocytiques. Ci-dessous, quelques relevés faits à partir de l'article terminal.

LY-AD 3921	LY-AD 433
5-1-1-1-1	11-4-2-1-1-2-2-1
4-1-1-1-1	9-2-1-2-2
1-1-1-1-1	3-2-1-2-2

*Polarité:* faite sur la récolte 3921. — L'espèce est tétrapolaire.

A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 1	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 2-4-9
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 3-5-6-7	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> 8

#### *Polysperme:*

*Croissance.* — Moyenne (boîte de Pétri remplie en 5 semaines)

*Aspect.* — Mycélium aérien peu développé; sous la loupe il apparaît duveteux court et lâche, laissant voir le milieu par transparence; rares veinules de mycélium plus denses et blanchâtres. Orientation radiale du mycélium submergé bien visible par transparence. Odeur subnulle, dessous inchangé.

*Microscopie.* — Marge constituée d'hyphes génératrices régulièrement bouclées,  $\times 3 \mu\text{m}$ . Mycélium aérien: hyphes génératrices  $\times 3-4-(5) \mu\text{m}$ , bouclées rectilignes aux parois fortement et irrégulièrement épaissies, légèrement congophiles, ne laissant parfois subsister qu'un fin lumen ( $\times 2-3 \mu\text{m}$ ) aux parois minces portant elles-mêmes de courts rameaux plus ou moins perpendiculaires (de  $5-20 \mu\text{m}$  de longueur maximale) parfois groupés en buissons touffus et souvent portés sur des parties renflées de l'hyphe. Nombreuses incrustations soit à l'extrémité de rameaux simples (sur une longueur de  $30-40 \mu\text{m}$ ), soit sur le parcours des hyphes; dans ce cas les cristaux peuvent être pointus ou cubiques (fig. 12,E).

*Cytologie.* — Les articles des hyphes sont binucléés.

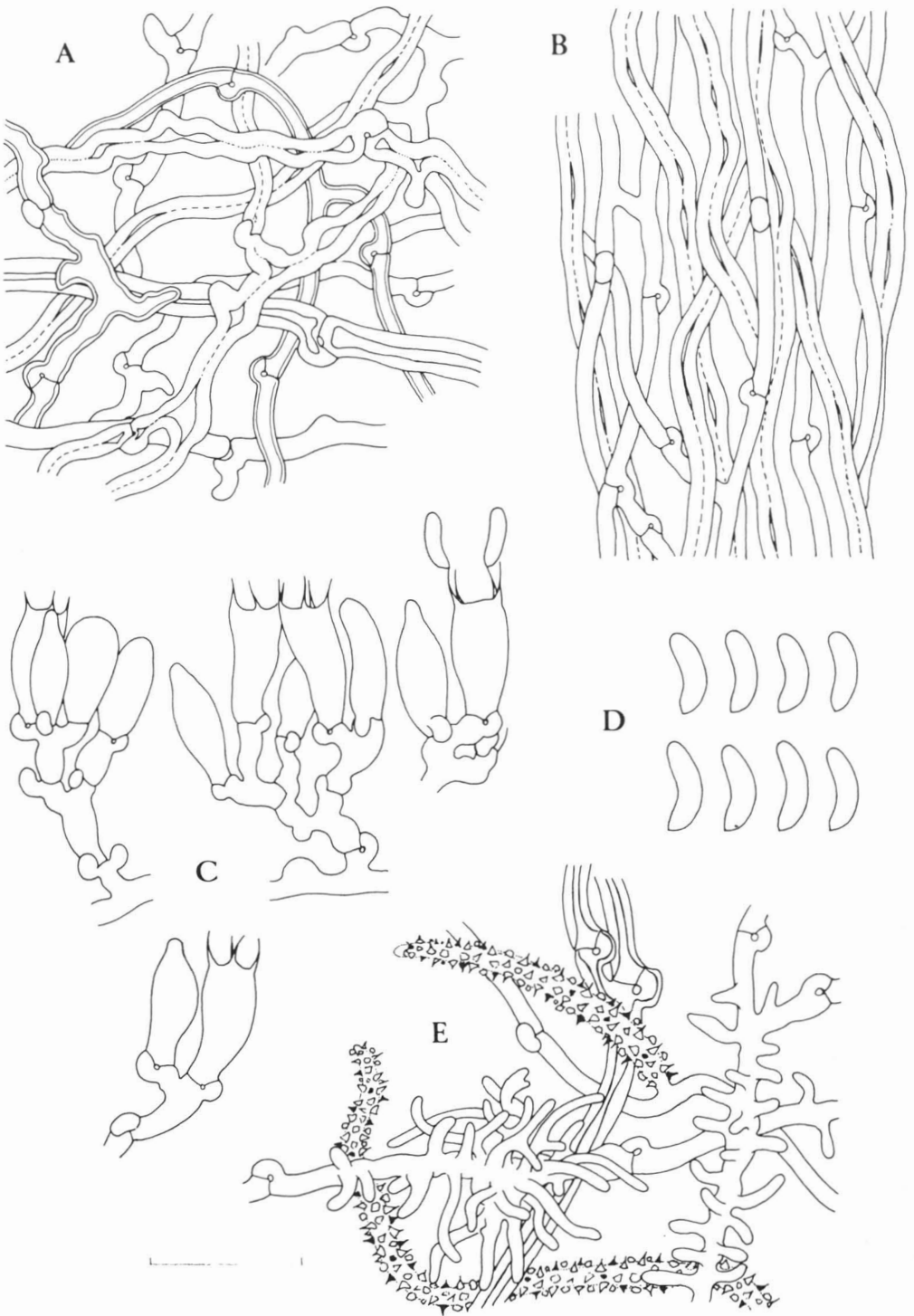


Figure 12. *Skeletocutis subincarnata* (Peck) Domanski (A.B.C.D.: LY-AD 433; E: LY-AD 3598)  
 A. Hyphes du subiculum (zone contiguë aux tubes) ( $\times 1000$ ); B. Hyphes des dissépiements ( $\times 1000$ );  
 C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1000$ ).



## Oxydases. —

Gaïacol :	2‰	++++	0
	0,2‰	+++++	0
Acide gallique :		+++++	0
Tyrosine :			- 0
Paracrésol :			- 0

Comportement nucléaire : hétérocytique.

Code : 2-3-9-12-32-38-45-55-60-63.

*Skeletocutis subsphaerospora* sp. nov.

## DESCRIPTION DES CARPOPHORES

*Carpophori annui, jacentes, specie parvarum laminarum usque ad 3 cm × 0,5 cm cum confluunt, aetate leviter alutacei. Poris 4-6 per mm, rotundis, dissepimentis pruinosis; Tubulis 0,1-0,5 mm altis, subiculo tenuissimo araneosoque. Textura dimitica, hyphis generatricibus fibulatis, incrustatis, ad instar typi skeletocutis, praesertim in summa parte dissepimentorum, circum poros. Basidiis claviformibus; cystidiolis multis; sporis subglobosis 3,5-4 × 3-3,5 μm. — Holotypus: LY-AD 3934, Herb. A. David, Lyon.*

Carpophores annuels, étalés sous forme de nombreuses petites plaques blanches pouvant atteindre par confluence 3 cm de long sur 0,5 cm de large, prenant avec l'âge des teintes très légèrement alutacées. Marge blanche fimbriée, ou formant un bourrelet plus ou moins laineux de 0,5 cm de largeur. 4-6 pores par mm, ronds; dissépiments apparaissant givrés sous la loupe. Tubes de 0,1 à 0,5 mm de hauteur; subiculum extrêmement mince et aranéux.

*Système monomitique* : subiculum constitué d'hyphes génératrices à paroi mince, bouclées, irrégulières, souvent tortueuses, sans orientation bien définie × 2-3-(4) μm, aux incrustations nombreuses (fig. 13,A). Dissépiments constitués d'hyphes génératrices bouclées, à paroi mince, peu cohérentes (texture assez lâche), assez régulières, sinueuses, très ramifiées, × (1,5)-2-2,5-(3) μm (fig. 13,B). Hyphes incrustées nombreuses à la marge des pores (Pl. II,C); pas de sous-hyménium; basides généralement claviformes, parfois cylindriques et trapues 8-13-(14) × (4,5)-5-(5,5) μm à 4 stérigmates assez courts (2,5-3,5 μm). Cystidioles assez nombreuses, lancéolées, fusiformes, parfois légèrement mucronées, 7-12 × 4-5 μm (fig. 13,C). Spores subsphériques, contenant une grosse goutte huileuse (3,3)-3,5-4 × 3-3,5 μm (fig. 13,D).

*Récoltes françaises* : LY-AD 3934 sur tronc décortiqué de *Cedrus*, Massif des Cèdres

(Sud Ventoux), Vaucluse, 25-08-1980, Holotype, Herbar A. David, Lyon.

*Récoltes étrangères* : LY-AD 4076 sur tronc de *Quercus coccofera*, région de Murcie, Espagne, leg. *Honrubia*, 30-11-1978.

*Habitat* : connu par deux récoltes méditerranéennes sur conifères ou feuillus.

*Remarque* : espèce très facile à reconnaître par ses incrustations, ses spores subsphériques et son monomitisme. Ces deux derniers caractères la rapproche de *Fibuloporia donkii* Domanski.

## ETUDE DES MYCELIUMS

Observations faites sur la culture 3934.

*Germinations et mycélium polysperme* : n'ont pu être obtenus à partir de la sporée. Les observations qui suivent ont été faites sur le mycélium obtenu par bouture. Ce mycélium bouclé à l'origine a très vite perdu ses boucles en culture.

*Croissance*. — Extrêmement lente, un centimètre en six semaines.

*Aspect*. — Marge régulière appliquée; mycélium aérien peu développé, duveteux très lâche, blanc.

*Microscopie*. — Mycélium aérien constitué d'hyphes régulières, bouclées, peu ramifiées × 2-2,5 μm; nombreuses incrustations de différents types soit de type *Skeletocutis*, soit beaucoup plus grosses et cubiques ou de forme variée.

## Oxydases. —

Gaïacol :	2‰	++	0
	0,2‰	++	0
Acide gallique :		++	0
Tyrosine :			- 0
Paracrésol :			- 0

*Comportement nucléaire* : le mycélium débouclé est constitué d'articles uninucléés. Le mycélium secondaire ayant très rapidement débouclé, sa cytologie n'a pu être étudiée. Il est fort probable que les articles étaient binucléés. L'espèce aurait donc un comportement normal. Toutefois ce résultat devra être confirmé sur d'autres récoltes. Par ce comportement, l'espèce s'éloigne des *Skeletocutis* typiques.

Code : 2-3-9-12-32-38-45-55-60-63.

*Skeletocutis tschulymica* (Pilát) Keller

*Poria tschulymica* Pilát in Bull. Soc. mycol. Fr., 48: 35, 1932. — *Incrustoporia tschulymica* (Pilát) Domanski in Acta Soc. Bot. Pol., 32: 737, 1963.

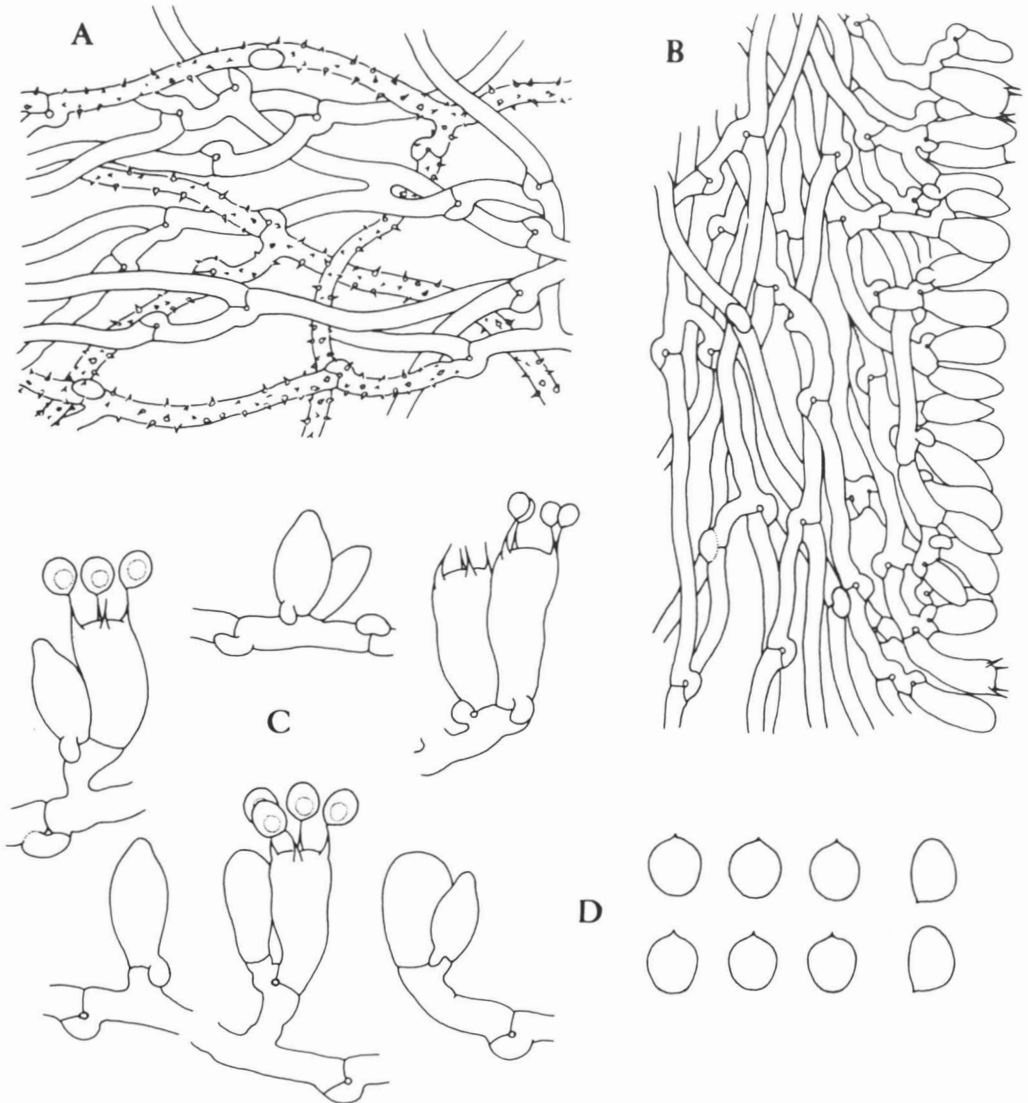


Figure 13. *Skeletocutis subsphaerospora* sp. nov. (LY-AD 3934) A. Hyphes du subiculum (vue de dessus) ( $\times 1000$ ); B. Hyphes de la trame ( $\times 1000$ ); C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ).

#### DESCRIPTION DES CARPOPHORES

Carpophores annuels, étalés, de forme variable selon leur position sur le substrat. Très souvent sur tronc mort debout, à 1 mètre ou 1,50 mètre du sol, avec pores obliques étagés, formant parfois des tubercules noduleux rappelant *Antrodia serialis*. Taille maximum observée  $10 \times 20 \times 1$  cm; exemplaires étalés sous troncs couchés beaucoup plus réguliers et minces. Pores (2)-3-4-(5) par mm, arrondis, parfois déchirés ou confluent don-

nant l'impression d'être beaucoup plus grands, jaunâtre sale 2,5 Y 8/4, 9/4, ocre clair 10 YR 8/6, disséminés minces fimbriés. Marge stérile souvent large de 1-2 mm, fimbriée, blanchâtre, plus ou moins translucide sur le frais. Odeur nauséuse. Subiculum blanc cotonneux, haut de 0,5-1 mm sur les bords, beaucoup plus épais au centre dans les exemplaires croissant sur supports verticaux ( $\times 2-4$  mm), distinct des tubes qui sont alutacés, cornés, friables et fragiles sur le sec, 1 à 5 mm de hauteur.

*Système pseudodimitique* : avec hyphes génératrices bouclées à paroi mince et hyphes génératrices sclérifiées à boucles rares, pouvant être interprétées à première vue comme des hyphes squelettiques. La paroi de ces hyphes est faiblement métrachromatique au bleu de crésyl excepté une fine couche externe qui se colore en bleu foncé. Dans le contexte, la trame, et l'hyménium, présence de très nombreux cristaux épars se répandant dans le liquide de montage et se dissolvant partiellement dans KOH et NH<sub>4</sub>OH. Le contexte montre deux zones légèrement différentes par l'orientation des hyphes : la région contiguë au support est constituée de nombreuses hyphes,  $\times 3-5,5 \mu\text{m}$  sclérifiées ou non, assez régulières, accolées entre elles et parallèles au support. Elles coexistent avec des hyphes d'orientation variable, plus irrégulières et généralement de plus faible calibre,  $\times 2,5-3,5-(4) \mu\text{m}$ . Dans la région proche des tubes au contraire, les hyphes sont très intriquées, sans orientation privilégiée ; présence ici et là de parties très congophiles à savoir ramifications simples ou coralloïdes, bourgeons ou anses d'anastomoses (fig. 14,A). La trame des dissépiements présente une orientation générale parallèle à l'axe des tubes ; elle est constituée essentiellement d'hyphes génératrices à paroi mince, assez régulière, bien ramifiées et fortement cohérentes, difficiles à dissocier,  $\times 2-3,5 \mu\text{m}$  (fig. 14,B<sub>1</sub>). Vers l'extrémité des tubes, ces hyphes deviennent libres, sont incrustées et pour la plupart enroulées en spirales (fig. 14,B<sub>2</sub>). Accompagnant ces hyphes génératrices, mais beaucoup moins nombreuses, on trouve des hyphes à paroi épaissie semblables aux hyphes génératrices sclérifiées observées dans le subiculum mais ici non ramifiées. On a pu observer quelques boucles bien constituées. L'espèce sera dite pseudodimitique.

Pas de sous-hyménium bien différencié ; basides claviformes, plus rarement cylindriques, 8-12-(14)-  $\times 4-4,5(5) \mu\text{m}$ , à quatre stérigmates ; cystidioles nombreuses de même taille que les basides, en alène ou mucronées (fig. 14,C). Spores cylindriques arquées, 4-5  $\times 1-1,3-(1,5) \mu\text{m}$  (fig. 14,D), aux parois hyalines non amyloïdes, acyanophiles ; la sporée est blanche.

*Récoltes françaises* : LY-AD 3049 sur tronc de *Quercus* sp. mort debout, Forêt de Chauv, Jura, 11-10-1972 ; LY-AD 3306 sur *Populus tremula*, Forêt de la Ferté, Saône et Loire, 18-10-1975 ; LY-AD 3713 idem 20-08-1979.

*Exsiccata observés* : *Incrustoporia tschulymica* (Pilát) Domanski, HMIPC 5632, sur tronc de *Picea excelsa*, Bialowieza, distr. Hajnowka, Pologne, leg. et det. S. Domanski, 29-8-1968 ; *Incrustoporia tschulymica*, HMIPC 5681 sur tronc de *Picea excelsa*, Bialowieza, distr. Hajnowka, Pologne, leg. et det. S. Domanski, 4-9-1968 ; *Poria tschulymica* Pil. sur *Picea abies*, Dobroc, Tchécoslovaquie, leg. et det. Kotl. et Pouz., 4-9-1962 ; *Incrustoporia tschulymica* (Pil.) Dom., sur tronc tombé de *Picea abies*, Enontieön Lappi, Ounas-Pallas Nat. Park, Vuontisjärvi, Finlande, leg. et det. T. Niemelä, 25-8-1970 ; *Incrustoporia tschulymica* n° 1889, sur tronc pourri de *Populus tremula* dans une forêt mélangée, pr. vicum Szalafő, Yougoslavie, leg. et det. Igmandy, revu M. Tortić, 8-10-1970 ; *Incrustoporia tschulymica* n° 202, sur tronc couché de *Picea*, Nat. parc Sutjeska, Perucica, Yougoslavie, leg. et det. M. Tortić, 27-9-1977.

*Habitat* : paraît croître aussi bien sur conifères que sur feuillus, plus particulièrement sur *Populus tremula*.

#### ETUDE DES MYCÉLIUMS

*Germinations et mycéliums monospermes* : Les spores uninucléées donnent naissance à des germinations dont les articles sont cénocytiques. Le mycélium primaire a des articles terminaux à 7-24 noyaux, ceux-ci n'étant plus que 1-2 dans les articles plus anciens ; monospermes étudiés 3049, 3713 (souches françaises), 5632 et 5681 (souches polonaises).

*Polarité* : comme l'a déjà signalé Domanski (1969), l'espèce est tétrapolaire.

*Polysperme* : déjà étudié par Domanski (1969). Nos observations concordent avec celles de l'auteur.

*Croissance*. — Rapide, (boîte de Pétri recouverte en trois semaines).

*Aspect*. — Marge plongeante plus ou moins byssoïde. Mycélium appliqué laissant voir le milieu par transparence, devenant dès la quatrième semaine cotonneux laineux lâche parsemé de houppes plus hautes et denses et de petits granules blancs visibles à travers ce mycélium aérien. Rares petites plages feutrées ocre clair 10 YR 8/6, 2,5 Y 9/8. Odeur aromatique de Sapotille.

*Microscopie*. — Marge : hyphes génératrices régulièrement bouclées  $\times 3 \mu\text{m}$ . Mycélium aérien constitué d'hyphes génératrices de calibre varié  $\times 2-10 \mu\text{m}$ . Elles peuvent être

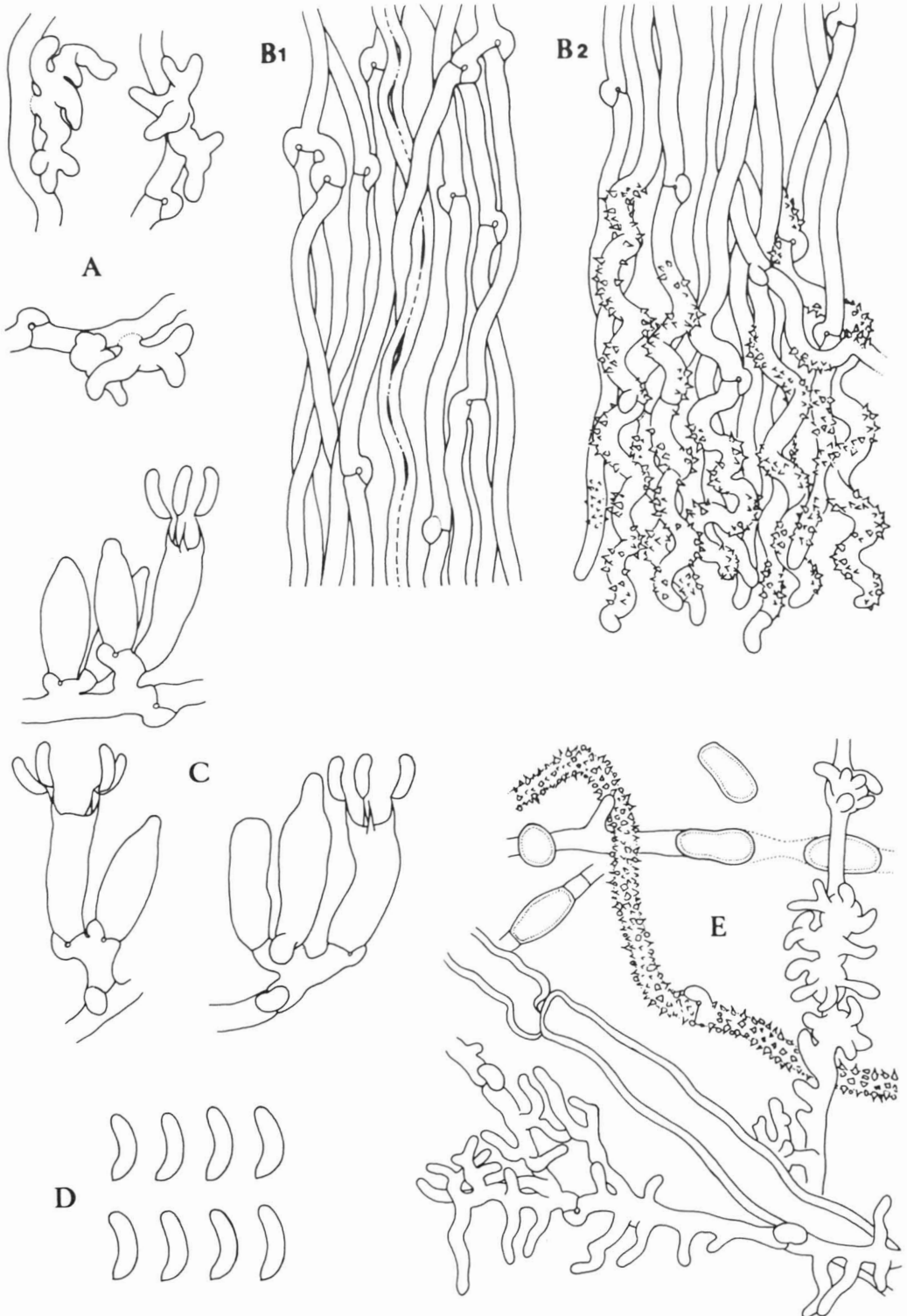


Figure 14. *Skeletocitis tschulymica* (Pilát) Keller (LY-AD 3713) A. Petites ramifications arbusculeuses du subiculum ( $\times 1000$ ); B. Hyphes des dissépiments ( $\times 1000$ ): 1- Zone moyenne, 2- Extrémité; C. Basides et cystidioles ( $\times 1500$ ); D. Spores ( $\times 2000$ ); E. Mycélium en culture ( $\times 1000$ ).

réparties en trois catégories 1) les plus étroites,  $\times 1,5-2,5 \mu\text{m}$ , régulières, portant de nombreuses ramifications courtes, grêles, souvent insérées à angle droit. 2) les hyphes de calibre moyen,  $\times 2,5-5 \mu\text{m}$ , les plus nombreuses, parfois irrégulières donnant naissance à divers types de ramifications, soit de simples rameaux en général courts, irréguliers, parfois tuberculiformes, soit des ramifications de type coralloïde, soit des excroissances plus ou moins boursouflées elles-mêmes recouvertes de rameaux courts irréguliers. Ces excroissances peuvent se former dans l'axe même de l'hyphe. Ces hyphes sont souvent incrustées sur de grandes longueurs. 3) enfin des hyphes de fort calibre  $\times 6-10 \mu\text{m}$  assez peu nombreuses, irrégulières, avec contractions fréquentes, moins ramifiées que les précédentes, à paroi irrégulièrement épaissie toujours fortement congophile. Chlamydo-spores fréquentes, ellipsoïdes, pyriformes, citrifformes ou ovoïdes, plus rarement cylindriques  $6-10-(12) \times (2,5)-3-5 \mu\text{m}$  (fig. 14,E). L'observation du mycélium monté dans une goutte d'eau entre lame et lamelle montre la présence entre les hyphes de très nombreuses gouttes d'huile colorables en rouge par une solution alcoolique de Soudan III. Les plages feutrées ocre clair doivent leur couleur à certaines hyphes dont le contenu d'apparence huileuse est jaune or.

**Cytologie.** — Les articles du polysperme sont binucléés.

**Oxydases.** —

Gaïacol:	0,2%	+++++	tr.
	2 %	++++	0
Acide gallique:		++++	tr.
Tyrosine:		+++	0
Paracrésol:			L

**Comportement nucléaire:** hétérocytique.

**Code:** selon Domanski, complété par nous-même selon Boidin: 2-3-7-12-34-36-38-40-43-44-(48)-53-54-60-63.

**Affinités:** espèce affine à *S. subincarnata*. Les confrontations faites entre les monospores des récoltes françaises (3049<sup>1-2-3</sup>, 3713<sup>1-2-3</sup>) et polonaises (5632<sup>1-2-3-4</sup>, 5650<sup>1-2-3-4</sup> et 5681<sup>1-3</sup>) sont positives, ce qui prouve bien l'identité de l'espèce qu'elle croisse sur *Picea* ou *Populus tremula*.

### Discussion et conclusion

L'étude présentée ici, tant morphologique que cytologique montre que toutes les espèces regroupées dans le genre *Skeleto-*

*cutis* sensu Keller présentent en commun de nombreux caractères dont la coexistence ne peut être que l'indice d'une réelle affinité. Parmi ces caractères communs, il en est que l'on retrouve dans de nombreux genres de Polyporaceae: pourriture blanche et tétrapolarité; et d'autres qui sont particulièrement distinctifs:

- 1) hyphes génératrices incrustées de masses amorphes souvent confluentes dont chacune est terminée par un aiguillon perpendiculaire à l'hyphe, incrustations dites, dans ce travail « de type *Skeleto-cutis* », présentes non seulement à la marge des dissépiments des carpophores mais aussi dans les cultures mycéliennes;
- 2) cystidioles fusiformes ou ventruées et mucronées;
- 3) fréquence d'une couche basale cornée;
- 4) hyphes génératrices présentant de courtes ramifications simples, arbusculeuses ou coralloïdes, fortement congophiles;
- 5) spores à germination tardive, (exceptionnellement 15 jours après leur dispersion, le plus souvent trois à quatre semaines);
- 6) germinations et mycéliums monospores cénocytiques;
- 7) tendance du mycélium dicaryotique à donner naissance à un mycélium non bouclé et cénocytique même en milieu aérien;
- 8) absence fréquente de fibres dans les cultures des espèces dimitiques (ce qui est assez rare);
- 9) mycélium en culture presque toujours odorant.

Il est donc nécessaire de redonner une définition du genre *Skeleto-cutis* Kotlaba & Pouzar 1958 emend.: carpophores annuels ou pérennes, résupinés, étalés-réfléchis ou dimidiés, de couleur blanche, alutacée, crème ou saumon; système mono ou dimitique, hyphes génératrices bouclées, certaines d'entre elles, plus particulièrement celles situées à la marge des dissépiments, recouvertes de masses irrégulières se terminant par un aiguillon; hyménium avec cystidioles fusiformes ou ventruées et mucronées, basides claviformes à spores de petite taille, à paroi mince, non amyloïde ni cyanophile; mycélium souvent odorant constitué d'hyphes génératrices bouclées présentant le même type d'incrustations que celles du carpophore et très rarement de fibres; espèces tétrapolaires à comportement nucléaire inconnu chez *S. azorica* et *S. jelicii* mais hétérocytique chez toutes les espèces étudiées à l'exception de *S. subsphaerospora* dont le comportement est normal. Type *S. amorphia* (Fr.)

Kotlaba & Pouzar. Nous regrettons que l'espèce type ne soit pas plus représentative : elle est dimidiée alors que la plupart des autres espèces sont résupinées mais surtout les incrustations de type *Skeletocutis* sont souvent très rares même à la marge des dissépiments autour des pores, parfois même absentes. *S. albocremaea*, *carneogrisea*, *kuhneri*, *papyracea*, *portcrosensis* et *sub-sphaerospora*, nouvelles espèces décrites dans ce travail correspondent fort bien à la définition du genre. *Skeletocutis portcrosensis* et *sub-sphaerospora* sont monomitiques tout comme *S. azorica* et *jelicii*. Il faut d'ailleurs remarquer que le dimitisme de certaines espèces n'est pas absolument net puisqu'il est très difficile de distinguer les hyphes sclérifiées des hyphes squelettiques. Il est plus facile de distinguer nombre d'espèces par la forme des spores car celle-ci peut varier d'une espèce à l'autre et être allantoïde, ellipsoïde ou subsphérique. Le genre *Gloeoporus* diffère, non plus par le fait qu'il est monomitique (rappelons que le genre *Skeletocutis* emend. renferme des espèces mono et dimitiques) mais par le fait que cystidioles hyméniales et hyphes incrustées sont absentes. Les germinations des *Gloeoporus* étant cependant cénocytiques (David, 1972) nous pensons que les deux genres présentent une certaine affinité. Le genre *Tyromyces* redéfini (David, 1980) présente également certains des caractères observés dans le genre *Skeletocutis* emend. notamment au niveau des cultures : germination cénocytique, hyphes incrustées dans le mycélium en culture, odeur légèrement aromatique, synthèse de laccase. Donk avait déjà écrit (1974, p. 269) «*Tyromyces chioneus* (*T. albellus*) might appear worthy of generic segregation not only on account of its hyphal make-up (briefly sketched above) but also because of several cultural characters that it shares with *Incrustoporia*». Les incrustations rencontrées dans le mycélium de cette espèce ne se terminent pas par un aiguillon, mais rappelons que dans le mycélium en culture de certains *Skeletocutis*, plusieurs types d'incrustations coexistent. Le contexte de deux espèces de *Tyromyces* (*chioneus* et *kmetii*) rappelle celui de *Skeletocutis amorpha*, plus particulièrement la zone cornée constituée d'hyphes sclérifiées non ou très faiblement métachromatiques entourées d'une «gangue» colorée en bleu violé par le bleu de crésyl.

Les hyphes squelettiques de *S. papyracea* se dissolvent partiellement dans une solution

de KOH, caractère déjà observé chez *Poria lindbladii* (Berk. & Br. ex Berk.) Cooke = *Poria cinerascens* Bres. dans lequel les hyphes se dissolvent totalement et presque instantanément. Les affinités de *P. lindbladii* ont toujours parues incertaines; ainsi Domanski (1972) le laisse dans le genre *Poria* qu'il définit comme un «residual genus» regroupant les polypores résupinés d'affinités douteuses. Ryvar den le transfère dans le genre *Antrodia* Karst. Rappelons que ce genre défini par Sarkar (1959) renferme des espèces à pourriture rouge, bipolaires ou homothalles ayant des germinations uninucléées (observations inédites) alors que *Poria lindbladii* provoque une pourriture blanche, est tétrapolaire (Résultats personnels en désaccord avec ceux de Nobles (1965) qui signale l'espèce bipolaire. Il s'agit d'une tétrapolarité masquée), et a des germinations cénocytiques. Des cystidioles peuvent être observées dans l'hyménium ainsi que des hyphes incrustées dans le mycélium en culture qui ne sont toutefois pas de type *Skeletocutis*. *Poria lindbladii* pourrait par enchaînement et par l'intermédiaire de *S. papyracea* être rattaché au genre *Skeletocutis* ou constituer un dérivé chez qui n'existeraient plus les hyphes incrustées de l'extrémité des dissépiments.

Toujours gravitant autour du genre *Skeletocutis*, mais présentant avec lui moins d'affinités, signalons *Poria lenis* (P. Karst.) Sacc. (= *Amyloporia lenis* (P. Karst.) Bond. & Sing. = *Antrodia lenis* (P. Karst.) Ryv. = *Poria calcea* (Fr.) Bres. et *Fibuloporia donkii* Domanski. *Poria lenis* est une espèce fréquente en France. Rappelons que Bourdot & Galzin (1928) groupaient comme formes de ce *Poria calcea* des espèces distinctes regroupées successivement dans les genres *Incrustoporia* et *Skeletocutis*, soulignant par là leur ressemblance. Signalons entre autres que *P. lenis* a des spores incurvées en lune, forme déjà observée dans nombre de *Skeletocutis*, des cystidioles plus ou moins nombreuses et de taille variée, une réaction amyloïde inconstante de la trame tout comme *S. subincarnata*; elle est également tétrapolaire (résultat inédit). *Poria lenis* diffère essentiellement par l'absence de cristaux de type *Skeletocutis* (bien que l'espèce possède des cristaux dits en oursin) et par le comportement nucléaire normal. Ces différences minimales sont à notre avis insuffisantes pour ne pas reconnaître une affinité entre cette espèce et celles regroupées dans le genre *Skeletocutis*. Pour les raisons évoquées

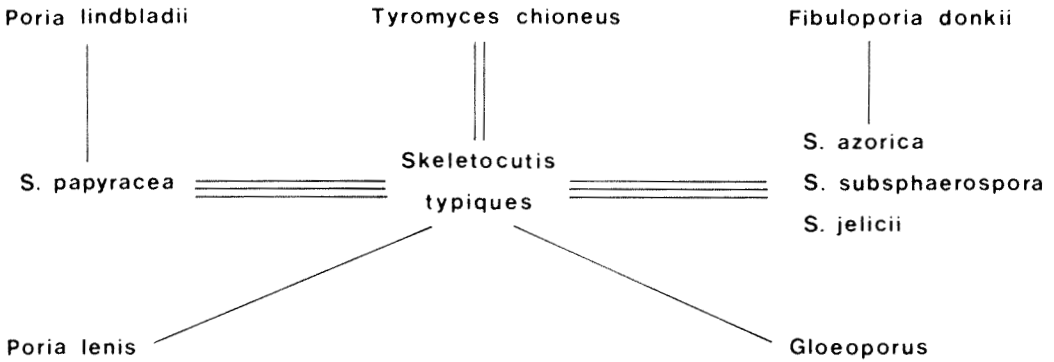


Figure 15. Tableau récapitulatif des affinités entre les espèces de *Skeletocutis* et les autres genres ou espèces de Polyporaceae.

*Skeletocutis* typiques : incrustations de type *Skeletocutis* ; nombreuses cystidioles ; spores allantoides ou cylindriques ; système dimitique ; comportement hétérocytique ; tétrapolarité ; pourriture blanche.

*Skeletocutis papyracea* : tous les caractères des *Skeletocutis* typiques mais, hyphes squelettiques se dissolvant partiellement dans  $\text{NH}_4\text{OH}$  et  $\text{KOH}$ .

*Poria lindbladii* : mêmes caractères que *Skeletocutis papyracea*, mais pas d'incrustations de type *Skeletocutis* et hyphes squelettiques se dissolvant complètement dans  $\text{KOH}$  ou  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

*S. subsphaerospora*, *S. jelicii*, *S. azorica* : mêmes caractères que les *Skeletocutis* typiques, mais spores subsphériques ou elliptiques ; système monomitique ; comportement normal (*subsphaerospora*) ou inconnu (*azorica* et *jelicii*) ;

*Fibuloporia donkii* : mêmes caractères que *S. subsphaerospora* mais pas d'incrustations de type *Skeletocutis*.

*Gloeoporus* : mêmes caractères que les *Skeletocutis* typiques, mais pas d'incrustations typiques ; pas de cystidioles.

*Tyromyces chioneus* : mêmes caractères que les *Skeletocutis* typiques, mais pas d'incrustations de type *Skeletocutis* et comportement astatocénocytique.

*Poria lenis* : mêmes caractères que les *Skeletocutis* typiques, mais pas d'incrustations de type *Skeletocutis*, et comportement normal.

plus haut, nous réfutons la combinaison *Antrodia lenis* (Karst.) Ryv. *Fibuloporia donkii* Domanski par son monomitisme et ses spores subsphériques n'est pas sans rappeler *Skeletocutis subsphaerospora* dont il ne diffère microscopiquement que par l'absence d'hyphes incrustées et de cystidioles.

Le genre *Skeletocutis* apparaît comme un groupe naturel par enchaînement ; il comporte des espèces centrales ayant en commun de très nombreux caractères et quelques espèces satellites mais différant par un ou plusieurs caractères (fig. 15).

### Remerciements

Pour effectuer cette mise au point, nous avons mis à contribution de nombreux mycologues ; nous remercions Mme M. Tortic pour l'aide précieuse qu'elle nous apporte par l'envoi fréquent de matériel yougoslave frais, les Drs Domanski, Lowe, Niemela, Pouzar et Reid pour l'envoi d'exsiccata et de cultures, Mme Jovet du Muséum d'histoire naturelle de Paris ainsi que le Directeur du Muséum d'Helsinki pour le prêt de spécimens. Nos plus vifs remerciements s'adressent également à M. Romagnesi pour les diagnoses latines,

ainsi qu'à tous nos collègues et amis pour l'envoi de récoltes : J. Boidin, Gaignon, M. Honrubia, D. Lamoure, C. Lécot, L. et F. Marti, V. Rastetter. Enfin notre reconnaissance s'adresse tout particulièrement à notre collaborateur B. Dequatre auquel nous devons l'illustration de ce texte.

### Références

- BAKSHI, B. K., H. S. SEHGAL & B. SINGH, 1969. A cultural diagnosis of Indian Polyporaceae I. Genus *Polyporus*. — Indian forest records, Forest pathology, 2 : 205-244.
- BOIDIN, J., 1958. Essai biotaxonomique sur les hydnes résupinés et les corticiés. Étude spéciale du comportement nucléaire et des mycéliums. — Mém. hors sér., Revue Mycol., n° 6, 387 p.
- BOIDIN, J., 1966. Basidiomycètes Corticiaceae de la République Centrafricaine. I. Le genre *Gloeocystidiellum* Donk. — Cah. Maboké, 4 : 5-17.
- BOIDIN, J., P. LANQUETIN, P. TERRA & C. E. GOMEZ, 1976. *Vararia* subg. *vararia* (Basidiomycètes Lachnocladiaceae) II : caractères culturels. — Bull. Soc. mycol. Fr., 92 : 247-277.

- BOURDOT, H. & A. GALZIN, 1928. Hyménomycètes de France. — Sceaux. Lechevalier. Paris, 761 p.
- DAVID, A., 1971. Caractères mycéliens d'*Incrustoporia percardida* Malençon et Bertault. — Acta phytotax. Barcinonensia., 8: 95-97.
- DAVID, A., 1972. Comportement nucléaire des représentants du genre *Gloeoporus* Mont.: *G. conchoides* Mont., *G. dichrous* (Fr.) Bres. et *G. pannocinctus* (Rom.) J. Erikss. récolté pour la première fois en France. — Bull. Soc. mycol. Fr., 88: 209-213.
- DAVID, A., 1980. Étude du genre *Tyromyces* sensu lato: répartition dans les genres *Leptoporus*, *Spongiporus* et *Tyromyces* sensu stricto. — Bull. Soc. linn. Lyon, 49: 1-56.
- DENNIS, R.W.G., D.A. REID & B.M. SPOONER, 1977. The fungi of the Azores. — Kew Bull., 32: 85-136.
- DOMANSKI, S., 1963. Deux nouveaux genres de champignons du groupe «*Poria* Pers. ex S.F. Gray». — Acta Soc. Bot. Pol., 32: 731-739.
- DOMANSKI, S., 1969. Wood-inhabiting fungi in Bialowieza virgin forests in Poland; XI. *Incrustoporia tschulymica* (Pilát) Doman. and its diagnose. — Acta Soc. Bot. Pol., 38: 465-473.
- DOMANSKI, S., 1972. Fungi II, Polyporaceae I (resupinate) and Mucronoporadeae I (resupinate) [traduction anglaise]. — National Center for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland, 234 p.
- DOMANSKI, S., H. ORLOS & A. SKIRGIELLO, 1973. Fungi, Polyporaceae II (pileatae) Mucronoporaceae II (pileatae). — Warsaw, 330 p.
- DONK, M.A., 1967. Notes on European polypores. II. Notes on *Poria*. — Persoonia, 5: 47-130.
- DONK, M.A., 1974. Checklist of European polypores. — Verh. Afd. naturk. Kon. Nederl. Akad. wet., Ser. 2, part 62, 469 p.
- KAARIK, A. & E. RENNERFELD, 1957. Investigations on the fungal flora of spruce and pine stumps — Meddn St. Skogsforsknst., 47: 1-88.
- KELLER, J., 1979. Ultrastructure des hyphes incrustées dans le genre *Skeletocutis*. — Persoonia, 10: 347-355.
- KOTLABA, F. & Z. POUZAR, 1958. Polypori novi vel minus cogniti Cechoslovakiae III. — Česká Mykol., 12: 95-105.
- LOWE, J. L., 1956. Type studies of polypores described by Karsten. — Mycologia, 48: 99-125.
- MALENÇON, G. & R. BERTAULT, 1971. Champignons de la péninsule ibérique. — Acta phytotax., Barcinonensia, 8: 1-97.
- NOBLES, M.K., 1948. Studies in forest pathology. VI. Identification of cultures of wood rotting fungi. — Can. J. Res., Sect. C, 26: 281-431.
- NOBLES, M.K., 1965. Identification of culture of wood-inhabiting hymenomycetes — Can. J. Bot., 43: 1097-1139.
- POUZAR, Z., 1966. Studie o sytematice chorosu I. — Česká Mykol., 20: 171-177.
- SARKAR, A., 1959. Studies in wood-inhabiting hymenomycetes. IV. The genus *Coriolellus* Murr. — Can. J. Bot., 37: 1251-1270.
- STALPERS, J.A., 1978. Identification of wood-inhabiting Aphyllophorales in pure culture. — Studies in Mycology, 16, Baarn, 248 p.
- TAKEMARU, T., 1964. Monokaryotisation studies in the basidiomycetes: 1. Chemical induction. — Rep. Toot. Mycol. Inst. Japon, 4: 37-40.
- TESTON, D., 1953. Étude de la différenciation des hyphes chez les polypores dimidiés de la flore française. — Bull. Soc. natn. Oxyonnax, 7: 80-110.
- TORTIC, M. & A. DAVID, 1981. *Skeletocutis jelicijii* nov. sp. (Polyporaceae). — Bull. Soc. linn. Lyon, 50: 217-219.



## COMMUNICATIONS BRÈVES

### CHROMOSOME NUMBERS OF SOME CANADIAN FERNS AND FERN ALLIES

W.J. CODY and G.A. MULLIGAN

Biosystematics Research Institute, Agriculture Canada  
Ottawa, Ontario K1A 0C6

#### Résumé

L'auteur présente les nombres chromosomiques de 44 taxons provenant de 7 familles de cryptogames vasculaires du Canada.

#### Abstract

Chromosome counts of 44 taxa from 7 families of Canadian ferns and fern allies are presented.

One of the chief problems in the study of the chromosome numbers of higher plants is that our knowledge of them is commonly based upon only one or a few records, these in only one part of the over-all range of a given species. The following report contains numerous new records for new localities scattered in Canada, especially Québec and Ontario. These records have a special value for confirming earlier records by such authors as Manton, Wagner, and Britton from different localities and areas of North America.

A bulletin on the ferns and fern allies of Canada by Cody is nearing completion. During the years of study, numerous collections were made in various parts of Canada, and many species were grown in the greenhouses and plots at the Central Experimental Farm at Ottawa.

Fixations of spore mother cells were made when feasible, both from plants in the field and in cultivation. Sporogenous tissues were killed and fixed in Carnoy's solution, stored in 70% alcohol, and stained in an alcoholic hydrochloric acid-carmin solution as outlined by Snow (1963). The chromosome counts obtained are presented below in the family sequence of Copeland (1947). Voucher specimens are preserved in the herbarium of Agriculture Canada (DAO). The voucher collections, when taken from

the plants in cultivation are indicated by an asterisk (\*) which follows the collection number.

#### EQUISETACEAE

*Equisetum hyemale* L. ssp. *affine* (Engelm.) Stone —  $n = 108$ . Ont.: Carleton Co., Pierce's Corners, Grainger & Macleod 4093.

#### OSMUNDACEAE

*Osmunda regalis* L. var. *spectabilis* (Willd.) A. Gray —  $n = 22$ . Qué.: Argenteuil Co., W of Calumet, Cody 18535; Gatineau Co., Gatineau Park, Cody 18496\*.

#### PTERIDACEAE

*Adiantum pedatum* L. ssp. *pedatum* —  $n = 29$ . Qué.: Gatineau Co. Gatineau Park, Cody 18074; U.S.A.: Exeter Wildflower Gardens, Exeter, N.H., Cody 18492\*.

*Adiantum pedatum* L. ssp. *calderi* Cody —  $n = 29$ . Qué.: Gaspé Co., Mont-Albert, C. Rousseau s.n. 5 sept. 1965, Cody & Sherk s.n.\*

*Cryptogramma crispera* (L.) R. Br. var. *acrostichoides* (R. Br.) C.B. Clarke —  $n = 30$ . N.W.T.: Yellowknife Highway, Cody 20099.

*Cryptogramma stelleri* (S.G. Gmel.) Prantl —  $n = 30$ . Qué.: Joliette Co., Rivière Ouareau, Cody & Beales 20286.

*Dennstaedtia punctilobula* (Michx.) Moore —  $n =$  ca. 33. Ont.: Prescott Co., Pendleton, *Cody* 21082\*, 21241\*.  
*Pellaea atropurpurea* (L.) Link —  $n =$  87. Qué.: Gatineau Co., N of Val Paquin, *Cody* 21223.  
*Pellaea glabella* Mett. var. *glabella* —  $n =$  116. Ont.: Leeds and Grenville Co., Jones Creek, SW of Brockville, *Cody & Sherk* 13304\*, *Cody* 18546\*;  
*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn var. *latiusculum* (Desv.) Underw. —  $n =$  52. Ont.: N of Huntsville, *Cody* 18150.

## ASPIDIACEAE

*Athyrium filix-femina* (L.) Roth var. *cyclosorum* (Ledeb.) Moore —  $n =$  40. B.C.: Victoria, *Cody s.n.*\*  
*Athyrium filix-femina* (L.) Roth var. *michauxii* (Spreng.) Farw. —  $n =$  40. Ont.: Lanark Co., SWS of Pakenham, *Cody* 18419\*; Prescott Co., Pendleton, *Cody* 21081B\*; Qué.: Papineau Co., Papineauville, *Cody & Beales* 20279; Saguenay Co., NE of Forestville, *Cody & Kemp* 18218.  
*Athyrium pycnocarpon* (Spreng.) Tidestr. —  $n =$  40. Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 21236.  
*Athyrium thelypteroides* (Michx.) Desv. —  $n =$  40. Ont.: Algonquin Provincial Park, *Cody* 18140.  
*Cystopteris fragilis* (L.) Bernh. —  $n =$  84. B.C.: Yoho National Park, *Cody* 13216\*, 18541\*.  
*Dryopteris campyloptera* Clarkson —  $n =$  82. Qué.: Duplessis Co., E of Clark City, *Cody & Kemp* 18256.  
*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs —  $n =$  82. Qué.: Papineau Co., Papineauville, *Cody & Beales* 20278; N of Montebello, *Cody* 18537.  
*Dryopteris cristata* (L.) A. Gray —  $n =$  82. Ont.: Carleton Co., Kanata, *Cody* 18552; Prescott Co., Pendleton, *Cody* 21249\*; Timiskaming District, N of Bourkes, *Cody & Kemp* 13418.  
*Dryopteris expansa* (Presl) Fraser-Jenkins & Jermy —  $n =$  41. Ont.: Algoma District, Wawa, *Cody* 18495\*, 18508\*.  
*Dryopteris fragrans* (L.) Schott —  $n =$  41. Ont.: Thunder Bay District, Sibley Peninsula, *Cody* 18057.  
*Dryopteris goldiana* (Hook.) A. Gray —  $n =$  41. Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 18553; Rouville Co., Rougemont, *Cody* 21238\*.  
*Dryopteris intermedia* (Muhl.) A. Gray —  $n =$  41. Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 18069; Papineau Co., N of Montebello, *Cody* 18538; Argenteuil Co., W of Calumet, *Cody & Beales* 20283.  
*Dryopteris marginalis* (L.) A. Gray —  $n =$  41. Ont.: Carleton Co., W of Kanata, *Cody* 18080; Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 18070; Papineau Co., N of Montebello, *Cody* 18539; Argenteuil Co., W of Calumet, *Cody* 18531.  
*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm. ssp. *dryopteris* —  $n =$  80. Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 18502\*.  
*Onoclea sensibilis* L. —  $n =$  37. Ont.: Prescott Co., Pendleton, *Cody* 21240\*.  
*Polystichum acrostichoides* (Michx.) Schott —  $n =$  41. Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 21243\*; Ont.: Carleton Co., South March, *Frankton* 2250.  
*Polystichum braunii* (Spenner) Fée —  $n =$  82. N.S.: Inverness Co., Mabou, *Cody* 18507\*, *Cody & Sherk* 13299\*.  
*Polystichum lonchitis* (L.) Roth —  $n =$  41. Ont.: Bruce Co., N of Kemble, *Cody* 12390\*.  
*Polystichum munitum* (Kaulf.) Presl —  $n =$  41. B.C.: N of Sooke River, *Cody* 18543\*.  
*Thelypteris palustris* Schott var. *pubescens* (Lawson) Fern. —  $n =$  35. Ont.: Carleton Co., Mer Bleu, *Cody* 21244\*; Carleton Co., South March, *Cody* 19156\*.  
*Thelypteris noveboracensis* (L.) Nieuwl. —  $n =$  27. N.S.: Hants Co., Upper Vaughn, *Cody* 20247; Ont.: Nipissing Dist. Algonquin Provincial Park, *Cody* 18138; Haliburton Co., SE of Huntsville, *Cody* 18148.  
*Woodsia ilvensis* (L.) R.Br. —  $n =$  41. Qué.: Chicoutimi Co., W of Bégin, *Cody & Kemp* 18325; Saguenay Co., N of Forestville, *Cody & Kemp* 18213; Ont.: Nipissing Dist., Deep River, *Cody* 21242\*; Timiskaming Dist., N. of Kenogami Lake, *Cody* 18481.  
*Woodsia glabella* R. Br. —  $n =$  39. NWT: Carcajou Lake, 64°40'N, 127°52'W, *Cody & Brigham* 20942.  
*Woodsia oregana* D.C. Eaton —  $n =$  38. Alb.: SE of Bellevue, *Cody* 13210.  
*Woodsia scopulina* D.C. Eaton —  $n =$  38. B.C.: S of Nelson, *Cody* 18542\*.

## BLECHNACEAE

*Blechnum spicant* (L.) Roth —  $n =$  34. B.C.: Vancouver Island, Jordan River, *Cody* 18505\*.  
*Woodwardia areolata* (L.) Moore —  $n =$  35. N.S.: Queens Co., Lake Rossignal, *Cody* 13300.

## ASPLENIACEAE

*Asplenium trichomanes* L. —  $n =$  36. Ont.: Lanark Co., White Lake, G. Hawksbridge

s.n. 6 Aug. 1972;  $n = 72$ . Ont.: Bruce Co., Barrow Bay, *Cody* 18494\*; B.C.: Queen Charlotte Islands, Limestone Island, *Cody* 18506\*; Carleton Co., Ottawa, *Cody* 18107.  
*Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm. var. *americanum* Fern. —  $n = 72$ . Ont.: Grey Co., Inglis Falls, *Cody & Sherk* 13302\*, *Cody* 18545\*.

## POLYPODIACEAE

*Polypodium amorphum* Suks. —  $n = 37$ . B.C.: (R. L. Taylor 5035), *Cody* 18499\*.  
*Polypodium glycyrrhiza* D.C. Eaton —  $n = 37$ . B.C.: Yale, *Taylor & Staudt* 4191, *Cody* 18544\*, 21080\*; Victoria, *Cody* 18489\*; S of Port Renfrew, *Cody* 18500\*.  
*Polypodium herperium* Maxon —  $n = 74$ . B.C.: (R. L. Taylor 3466), *Cody* 18487\*.

*Polypodium scolopendrium* Hook. & Grev. —  $n = 37$ . B.C.: Vancouver Island, Otter Point, *Cody* 15176, 18501\*.  
*Polypodium virginianum* L. —  $n = 37$ . Qué.: Gatineau Co., Gatineau Park, *Cody* 18503\*;  $n = 74$ . Qué.: Charlevoix Co., NE of La Malbaie, *Cody* 18504\*; Ont.: Carleton Co., W of Kanata, *Cody* 18083.

## References

- COPELAND, E. B., 1947. *Genera Filicum*. — Chronica Botanica Co., Waltham, Mass., 247 p.  
 SNOW, R., 1963. Alcoholic hydrochloric acid-carmine as a stain for chromosomes in squash preparations. — *Stain Technol.*, 38: 9-13.



## NEW COMBINATIONS FOR FORMS AND VARIETIES OF SOME NORTH AMERICAN ORCHIDS

P. M. CATLING

Biosystematics Research Institute,  
Central Experimental Farm,  
Ottawa, Ontario K1A 0C6

### Résumé

Un nouveau taxon (*Habenaria flava* f. **lutea** Boivin) est décrit et les nouvelles combinaisons suivantes sont proposées: *Galearis spectabilis* f. **gordinieri** (House) Whiting & Catling, *Platanthera grandiflora* f. **albiflora** (Rand & Redfield) Catling, *P. flava* f. **lutea** (Boivin) Whiting & Catling, *P. hookeri* var. **abbreviata** (Fernald) Catling, *P. orbiculata* var. **lehorsii** (Fernald) Catling, *P. psycodes* f. **albiflora** (R. Hoffm.) Whiting & Catling et *Dactylorhiza aristata* f. **perbracteata** (Lepage) Catling.

### Abstract

One new taxon (*Habenaria flava* f. **lutea** Boivin) is described and the following new combinations are proposed: *Galearis spectabilis* f. **gordinieri** (House) Whiting & Catling, *Platanthera grandiflora* f. **albiflora** (Rand & Redfield) Catling, *P. flava* f. **lutea** (Boivin) Whiting & Catling, *P. hookeri* var. **abbreviata** (Fernald) Catling, *P. orbiculata* var. **lehorsii** (Fernald) Catling, *P. psycodes* f. **albiflora** (R. Hoffm.) Whiting & Catling, and *Dactylorhiza aristata* f. **perbracteata** (Lepage) Catling.

In the process of preparing a complete list of the orchids of Canada and Alaska for the 1981 American Orchid Society Symposium, it became necessary to make some new combinations in keeping with recent changes at the generic level (Luer, 1975). Three of these changes are also necessary for a monograph of Ontario Orchids, co-authored by R. E. Whiting and P. M. Catling, and Mr. Whiting joins me in proposing these.

Naturalists and other users of orchid lists are very much interested in varieties, forms, and hybrids, and because of this it is especially desirable to include reference to these infra-specific taxa in our regional studies. The new combinations are presented here, rather than in the popular works that make them necessary, so that they will be more readily accessible to other workers and in compliance with the International Code of Botanical Nomenclature (Stafleu et al., 1978).

Luer (1975) listed *Habenaria orbiculata* var. *lehorsii* and *Habenaria hookeri* var. *abbreviata* as synonyms of *Platanthera orbiculata* and *Platanthera hookeri* respectively, but this judgement was not based on any

detailed study. Other recent authors including Boivin (1967) and Scoggan (1978) have maintained these varieties and such a conservative approach seems most appropriate (especially pending additional information) since it draws attention to the lack of information and to an interesting aspect of variability.

*Galearis spectabilis* (L.) Raf. f. *gordinieri* (House) Whiting & Catling comb. nov.: *Galeorchis spectabilis* f. *gordinieri* House, Bull. N.Y. St. Mus., 50: 243-244, 1923.

This form differs from the typical form in having the galea white instead of pink or mauve. It has been recorded from single locations in Bruce and Grey Counties, Ontario (herbarium — TRT).

*Platanthera grandiflora* (Bigelow) Lindley f. *albiflora* (Rand & Redf.) Catling comb. nov.: *Habenaria fimbriata* f. *albiflora* Rand & Redf., Fl. Mt. Desert, no. 153, 1894.

Differing from the typical form in having the flowers pure white instead of purplish-pink, this form is known in Canada from southern Québec (*sub Habenaria psycodes* f.

*leucophaeopsis*, Boivin, 1967a, p. 147; 1967b, p. 525).

*Platanthera flava* (L.) Lindley var. *herbiola* (R. Brown) Luer f. *lutea* (Boivin<sup>1</sup>) Whiting & Catling comb. nov.: *Habenaria flava* f. *lutea* Louis-Marie ex Boivin, *hoc loco* (cf. footnote below).

Differing from the typical form in having the flowers yellow instead of green, this form is known from southern Québec (Boivin, 1967a) and Carleton Co., Ontario (herbarium — DAO).

*Platanthera hookeri* (Torrey) Lindley var. *abbreviata* (Fernald) Catling comb. nov.: *Habenaria hookeri* var. *abbreviata* Fernald, *Rhodora*, 35: 239, tab. 252, 1933.

This variety differs from the typical variety in having the upper sepal ovate and obtuse and 5-7 mm long, instead of lance-acuminate and 7-11 mm long. The spur on the lip is 9-13 mm instead of 14-26 mm long, and the capsules are 9-14 mm long instead of 15-22 mm long. It is confined to north-western Newfoundland.

*Platanthera orbiculata* (Pursh) Lindley var. *lehorsii* (Fernald) Catling comb. nov.: *Habenaria orbiculata* var. *lehorsii* Fernald, *Rhodora*, 52: 61, tab. 1157, fig. 1, 2, 1950.

This variety differs from the typical variety and from var. *macrophylla* in having smaller leaves 6-9 cm long and a shorter scape 7-11 cm high with a dense raceme and 0-2(3) cauline bracts. The spur on the lip is 8-15 mm long. It is found in the heathy barrens of St. Pierre and Miquelon and western Newfoundland. Since the western var. *menziesii* Lindley is apparently transitional between the typical variety and var. *lehorsii* (Scoggan, 1978, p. 537), and since some

recent authors have found var. *lehorsii* "of little taxonomic significance", a new combination involving the var. *menziesii* is not presently proposed.

*Platanthera psycodes* (L.) Lindley f. *albiflora* (R. Hoffm.) Whiting & Catling comb. nov.: *Habenaria psycodes* f. *albiflora* R. Hoffm., *Proc. Bost. Soc. nat. Hist.*, 36: 248, 1922.

Differing from the typical form in having the flowers pure white instead of purplish-pink, this form is known in Canada from Ontario (herbarium — TRT) Québec, Prince Edward Island and Nova Scotia (Boivin, 1967a; Scoggan, 1978).

*Dactylorhiza aristata* (Fischer) Soó f. *perbracteata* (Lepage) Catling comb. nov.: *Orchis aristata* f. *perbracteata* Lepage, *Am. Midl. Nat.*, 46: 757, 1952.

Differing from the typical form in having the floral parts bract-like, this form is known only from Kodiak Island, Alaska.

## References

- BOIVIN, B., 1967a. Énumération des plantes du Canada. V. Monopsides (1<sup>ère</sup> partie). — *Naturaliste can.*, 94: 137-157.
- BOIVIN, B., 1967b. Énumération des plantes du Canada. VI. Monopsides (2<sup>e</sup> partie). — *Naturaliste can.*, 94: 471-528.
- LUER, C.A., 1975. The native orchids of the United States and Canada excluding Florida. — *New York Botanical Garden*, 361 p.
- SCOGGAN, H.J., 1978. The flora of Canada. Part 2. — *Nat. Mus. nat. Sci., Publ. Bot.*, 7: 93-545.
- STAFLEU, F.A. *et al.*, 1978. International code of botanical nomenclature, adopted by the Twelfth International Botanical Congress, Leningrad, July 1975. (*Regnum veg.* 97). — Bohn, Scheltema and Holkema, Utrecht, 457 p.

<sup>1</sup> Note by B. Boivin: *Habenaria flava* var. *herbiola* f. *lutea* Louis-Marie, *floribus luteis*. Type: *Sherk and Greenwood 547*, Ottawa River shoreline, 8 miles east of Champlain Bridge, Ottawa, 1966 (herb. DAO). This name was picked up during the preparation of the *Énumération des plantes du Canada* (*Naturaliste can.*, 94: 146, 1967). Later on I found myself unable to retrace the original listing, so I am here republishing it so that it will be available as a valid name or basionym.

## TROIS NOUVEAUX TAXONS DE DIATOMÉES BENTHIQUES ESTUARIENNES<sup>1</sup>

M. POULIN, C. HUDON et A. CARDINAL

Département de biologie, Université Laval, Québec G1K 7P4

### RÉSUMÉ

Les auteurs décrivent trois nouveaux taxons de diatomées épibenthiques de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent (Québec), soit une nouvelle espèce pour le genre *Navicula*, une variété de *Fragilaria* et une variété de *Nitzschia*.

### Abstract

Three taxa of the epibenthic diatom microflora of the south coast of the St. Lawrence estuary (Québec) are described as new: one species of *Navicula*, one variety of *Fragilaria* and one variety of *Nitzschia*.

Les diatomées représentent un élément nettement dominant de la microflore benthique de tous les littoraux marins, tant pour les faciès rocheux que meubles. En dépit de leur importante contribution à l'équilibre écologique des zones littorales, la composition spécifique en est très mal connue, entre autre pour l'est du Canada où seulement un nombre réduit de travaux s'y rattachent (Besch *et al.*, 1970; Bélanger & Cardinal, 1975, 1977; Bacon & Taylor, 1976).

Dans le cadre d'une étude sur la rive sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec, Hudon & Bourget (1981) se sont penchés notamment sur les problèmes de structure et de développement d'une communauté épibenthique en milieu naturel. Un examen plus approfondi de cette microflore locale a montré la présence de variétés et d'espèces nouvelles dont trois taxons appartenant aux genres *Fragilaria* (1 variété), *Navicula* (1 espèce) et *Nitzschia* (1 variété) sont décrits dans le présent travail.

Ces organismes végétaux ont été prélevés sur des substrats artificiels de plastique stratifié (Conoflex®) immergés pour fins de colonisation ainsi que sur le substrat rocheux naturel, entre mai et novembre 1978 et à l'été 1981.

Les taxons sont décrits selon les critères traditionnels de l'ornementation de la valve, et des mesures biométriques sont fournies. Les lames des spécimens types sont déposées pour le moment au Département de biologie de l'Université Laval.

### *Fragilaria virescens* var. *quebecensis* var. nov. (fig. 1a, 3-6)

*Valvae lineares-ellipticae. Apex attenuatus vel rostratus. Area axialialis angusta et rectilinea. Nullus area centralis. Rimoportula ad unam valvae apicem, leviter eccentrica et*

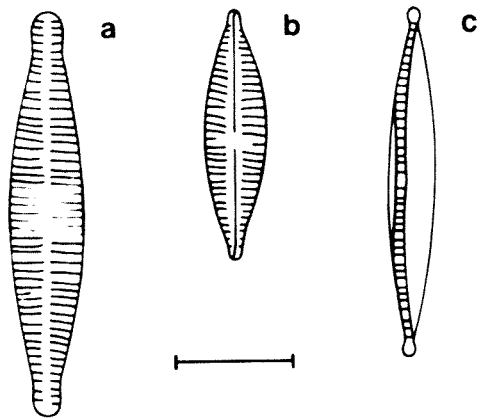


Figure 1. a, *Fragilaria virescens* var. *quebecensis*. b, *Navicula brunelii*. c, *Nitzschia hybrida* var. *gaspesiana*. Echelle: 10  $\mu$ m.

<sup>1</sup>Contribution au programme du GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).

*magnitudinem unius striae habens. Ocellus porelli ad utrumque valvae apicem. Striae persubtiliter punctatae, aliquando inaequaliter dispositae et leviter ad valvae centrum per halo dissimulatae. Striae parallelae vel radiatae ad valvae apices. Longitudo: 13-84  $\mu\text{m}$ . Latitudo: 5-10  $\mu\text{m}$ . Striae: 12-17/10  $\mu\text{m}$ .*

Valves linéaires-elliptiques. Apex atténué à rostré. Aire axiale étroite et rectiligne. Aire centrale absente. Processus labié à l'une des extrémités de la valve, légèrement excentrique et occupant l'espace d'une strie. Ocelle perforé aux deux extrémités de la valve. Stries très finement ponctuées, quelques fois irrégulièrement espacées et légèrement masquées au centre de la valve par un halo. Stries passant de parallèles à radiantes vers les extrémités de la valve. Longueur: 13-84  $\mu\text{m}$ . Largeur: 5-10  $\mu\text{m}$ . Stries: 12-17/10  $\mu\text{m}$ .

Holotype: substrat rocheux de l'étage médiolittoral, Pointe Mitis, estuaire du Saint-Laurent, Québec. 1981.07.22. Coll. A. Cardinal. Département de biologie, Université Laval. Lame n° 100.

Cette nouvelle variété possède tous les caractères propres à *Fragilaria virescens* Ralfs, illustrée par Hustedt (1962: fig. 672A), et n'en diffère que par la seule présence d'un halo au centre de la valve qui masque ainsi de 5 à 10 stries. Ce halo a été retrouvé chez tous les individus observés. Sa forme générale la différencie d'emblée des var. *capitata*, *mesolepta*, *elliptica*, *oblongella* et *subsalina*. Elle se distingue de la var. *exigua* par des extrémités beaucoup moins atténuées et de la var. *inaequidentata* par l'absence d'un léger gonflement transversal au centre de la valve.

***Navicula brunelii* sp. nov.**  
(fig. 1b, 2)

*Valvae lineares-ellipticae et valde siliceae. Apex sub-rostratus vel sub-capitatus et valde refringens. Raphe recta, proximalibus extremitatibus sibi confinibus. Area axialis perangusta. Area centralis parva, transversaliter expansa ita ut formetur figura plus minusve rectangularis, tamen utrinque abbreviata stria limitata. Striae persubtiliter lineatae, leviter radiatae ad centrum vel parallelae ad valvae apices. Longitudo: 14-31  $\mu\text{m}$ . Latitudo: 4-6  $\mu\text{m}$ . Striae: 14-16/10  $\mu\text{m}$ .*

Valves linéaires-elliptiques et fortement sicifiées. Apex de sub-rostré à sub-capité et fortement réfringent. Raphé droit dont les

extrémités proximales sont situées l'une près de l'autre. Aire axiale très étroite. Aire centrale petite, dilatée transversalement en un espace plus ou moins rectangulaire, et bordée de part et d'autre par une strie écourtée. Stries très finement hachurées (lineate striae), passant de légèrement radiantes au centre à parallèles vers les extrémités de la valve. Longueur: 14-31  $\mu\text{m}$ . Largeur: 4-6  $\mu\text{m}$ . Stries: 14-16/10  $\mu\text{m}$ .

Holotype: substrat artificiel (Conoflex®) dans l'étage infralittoral, Baie-des-Sables, estuaire du Saint-Laurent, Québec. 1978.10.31. Coll. Hudon-Bourget. Département de biologie, Université Laval. Lame n° 5.

Ce nouveau taxon s'apparente aux espèces *Navicula mollis* (W. Smith) Cleve et *N. ramosissima* (Agardh) Cleve et ses variétés, par sa forme linéaire-elliptique et le genre d'ornementation de la valve. *Navicula mollis* possède elle aussi des stries centrales légèrement radiantes, mais la présence de ce caractère en conjugaison avec une extrémité sub-rostrée, sub-capitée n'a jamais été rapportée. La présence dans nos échantillons de nombreuses formes montrant différents assemblages de ces caractères indique toutefois que la taxonomie de ce groupe d'espèces devrait être reconsidérée dans son ensemble.

***Nitzschia hybrida* var. *gaspesiana* var. nov.**  
(fig. 1c, 7, 8)

*Valvae lineares-ellipticae, contractae in faciem cincture. Apex capitatus. Carina eccentrica, sub-marginalis. Fibulae inaequaliter dispositae, mediae duae tamen magis interse separatae ita ut formetur distinctus nodulus centralis. Noduli terminales perspicui. Striae persubtiliter punctatae et parallelae per totam valvam. Longitudo: 26-50  $\mu\text{m}$ . Latitudo: 4  $\mu\text{m}$ . Fibulae: 12-15/10  $\mu\text{m}$ . Striae: 26-27/10  $\mu\text{m}$ .*

Valves linéaires-elliptiques, contractées en vue cingulaire. Apex capité. Carène excentrique, sub-marginale. Fibules irrégulièrement distantes les unes des autres, les deux médianes plus écartées formant un nodule central distinct. Nodules terminaux évidents. Stries très finement ponctuées et parallèles sur toute la valve. Longueur: 26-50  $\mu\text{m}$ . Largeur: 4  $\mu\text{m}$ . Fibules: 12-15/10  $\mu\text{m}$ . Stries: 26-27/10  $\mu\text{m}$ .

Holotype: substrat artificiel (Conoflex®) dans l'étage infralittoral, Baie-des-Sables, estuaire du Saint-Laurent, Québec. 1978.10.



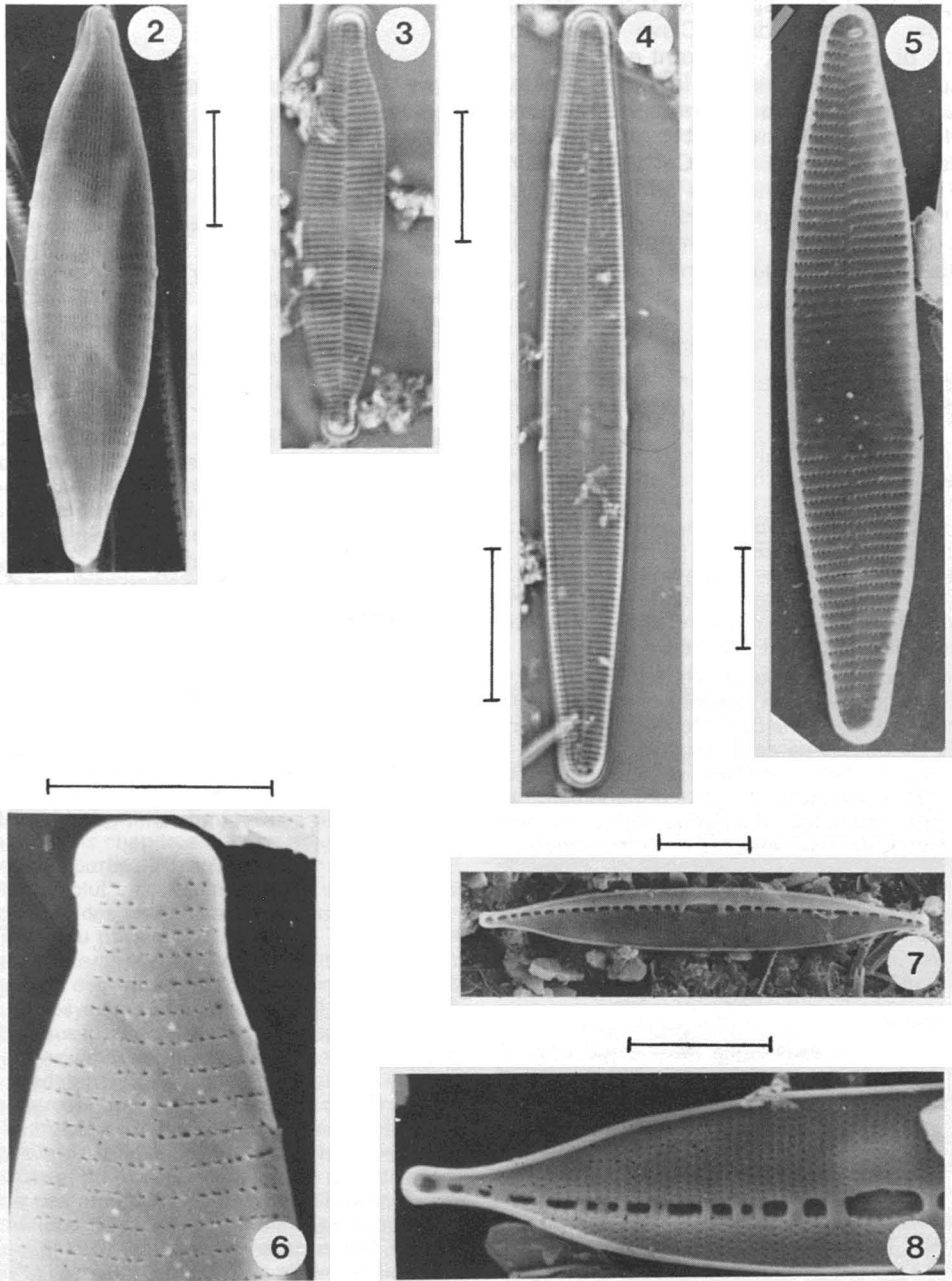


Figure 2-8. Figure 2. *Navicula brunellii*, MEB. Figures 3-6. *Fragilaria virescens* var. *quebecensis* (fig. 3, 4 variations morphologiques; fig. 5 vue interne, MEB; fig. 6 vue externe, MEB). Figures 7, 8. *Nitzschia hybrida* var. *gaspesiana*, vues internes, MEB. Échelles: 5  $\mu\text{m}$  (fig. 2, 5, 6, 8), 10  $\mu\text{m}$  (fig. 3, 4, 7).

31. Coll. Hudon-Bourget. Département de biologie, Université Laval. Lame n° 5.

Les spécimens que nous avons observés s'apparentent à l'espèce *Nitzschia hybrida* Grunow, illustrée dans Cleve & Grunow (1880: pl. 5, fig. 95), montrant eux aussi les caractères spécifiques tels la forme générale de la valve, la légère contraction engendrée par l'allure de la carène et la présence évidente d'un nodule central. Cette nouvelle variété se distingue toutefois de l'espèce type par des extrémités plus distinctement capitées, une carène sub-marginale et un nombre de stries légèrement plus grand.

### Remerciements

Ce travail a été rendu possible grâce à l'assistance financière accordée au Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ), à A. Cardinal et C. Hudon par le Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et le ministère de l'Éducation du Québec. Nous remercions le Centre Champlain des sciences de la mer (Pêches et Océans Canada) pour leur aide financière et matérielle et pour leur appui lors d'une entente contractuelle avec le ministère des Approvisionnement et Services du Canada.

Nous remercions le Dr Ruth Patrick de sa précieuse collaboration lors de l'identification des spécimens ainsi que le Dr E. Bourget qui a appuyé toutes les phases de cette étude; Messieurs J.-P. Ricbourg et J.-P. Tremblay respectivement de l'INRS-Géoresources et du Département de mines et métallurgie de l'Université Laval pour l'utilisation de leur microscope électronique à

balayage (MEB). Nos remerciements vont également à Mads. R. Girard et L. Roy-Saint-Pierre pour la réalisation des dessins et au Dr J. Gallup pour la révision des diagnoses latines.

### Références

- BACON, G. B. & A. R. A. TAYLOR, 1976. Succession and stratification in benthic diatom communities colonizing plastic collectors in a Prince Edward Island estuary. — *Bot. mar.*, 19: 231-240.
- BÉLANGER, C. & A. CARDINAL, 1975. Le genre *Cocconeis* Ehr. dans la baie des Chaleurs (golfe du Saint-Laurent, Québec). — *Naturaliste can.*, 102: 605-607.
- BÉLANGER, C. & A. CARDINAL, 1977. Stades initiaux de colonisation de substrats durs dans la baie des Chaleurs, Québec. — *Mar. Biol.*, 44: 27-38.
- BESCH, W. K., M. RICARD & R. CANTIN, 1970. Utilisation des diatomées benthiques comme indicateur de pollution minière dans le bassin de la Miramichi, N.B. — *Fish. Res. Bd Can.*, Tech. Rep. n° 202, 72 p.
- CLEVE, P. T. & A. GRUNOW, 1880. Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. — *K. svenska VetenskAkad. Handl.*, 17: 1-121.
- HUDON, C. & E. BOURGET, 1981. Initial colonization of artificial substrate: community development and structure studied by scanning electron microscopy. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 38: 1371-1384.
- HUSTEDT, F., 1962. Die Kieselalgen. Band 7, Teil 2, Lief. 1. — Pages 1-176 in J. Cramer (ed.). *L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora*. Weinheim, Germany, 176 p.

## REVUE DES LIVRES

POMEROY, L.R. & R.G. WIEGERT (édit.), 1981. **The ecology of a salt marsh.** — Springer-Verlag, New York, 271 p., 17 × 24 cm. Prix: 29,80 \$US.

En 1961, l'écologiste de renom E.O. Odum dévoile les premiers résultats d'une étude d'envergure sur l'écologie du marais salant de Sapelo Island en Georgie (New York State Conservationist, 15: 12-15). Il y démontre le haut taux de production primaire des marais à *Spartina* et souligne leur grande contribution à la productivité des estuaires. Au cours de la même décennie, lui et ses collègues produisent d'autres articles d'importance [v.g. Odum & de la Cruz in Lauf (édit.), Estuaries. — Publ. AAAS, 83: 383-388; Teal, 1962. Ecology, 43, 614-624; Teal & Teal, 1969, Little Brown]. L'impact est grand: l'opinion publique est sensibilisée au besoin de protéger les marais salants de la côte est des États-Unis; la communauté scientifique se réjouit non seulement des nouvelles connaissances acquises, mais aussi de ce bel exemple de ce qui peut être accompli par une étude multidisciplinaire menée sur un écosystème.

*The ecology of a salt marsh* expose les résultats obtenus dans la poursuite de cette étude à Sapelo Island jusqu'au début des années 1980. On ne peut pas rester indifférent face à cet exemple de recherche poursuivie sur plus de vingt ans par un nombre appréciable de scientifiques de différentes spécialités. En tout, vingt scientifiques signent les dix chapitres qui composent le volume. La première partie du livre (*Ecosystem structure and function*) inclut un chapitre servant d'introduction à l'écologie des marais salants et un autre décrivant le milieu physique et chimique. La deuxième partie (*Salt marsh populations*) consacre un chapitre à chacun des groupes d'organismes présents dans l'écosystème: les plantes (végétaux supérieurs, algues, phytoplancton), les macro-consommateurs aquatiques, les brouteurs de *Spartina* et leurs prédateurs, les microbes aérobies et la méiofaune, la respiration anaérobie, et à la fermentation. La troisième partie (*Salt marsh ecosystem*) est composée de trois chapitres: l'un décrit les cycles de l'azote et du phosphore, un autre explique l'utilisation des modèles pour intégrer l'ensemble des informations de façon à formuler des hypothèses expliquant la dynamique du marais et son interaction avec l'estuaire, et le dernier fait la synthèse des connaissances acquises sur cet écosystème.

Les publications des années 1960 formaient la base des connaissances «populaires» sur l'écologie des marais salants: haut taux de production de *Spartina alterniflora*, ce qui forme la base d'une chaîne alimentaire détritique, décomposée en grande partie par des bactéries et qui, par une

exportation régie par les marées, «alimente» l'estuaire contigu. Les résultats des études des années 1970, principal sujet de ce livre, viennent amplifier, nuancer et corriger ces connaissances. On reconnaît maintenant que les algues microscopiques contribuent d'une façon importante à la productivité primaire des marais salants. Les détritus de *Spartina* subissent une transformation substantielle dans le marais même, et par conséquent ne peuvent pas jouer un rôle aussi important dans l'alimentation de l'estuaire qu'on ne le prévoyait antérieurement; maintenant, l'on croit que ce lien trophique entre le marais et l'estuaire est assuré par les macro-consommateurs vivant dans les eaux couvrant le marais durant les marées hautes et résidant dans les ruisseaux à marée basse. Ces exemples de nouvelles perceptions des processus écologiques reflètent la contribution fondamentale de cette recherche, mais le spécialiste sera aussi impressionné par la description des techniques employées, particulièrement en ce qui a trait à l'étude des organismes microscopiques et l'utilisation des modèles de simulation.

L'audience visée par ce livre est clairement celle des étudiants de niveau universitaire et des écologistes professionnels; le format, la présentation et l'utilisation d'un langage assez technique en témoignent. Néanmoins, certains non-spécialistes y trouveraient intérêt grâce à certains chapitres de synthèse et grâce à l'inclusion de paragraphes plus vulgarisés résumant les chapitres hautement techniques. La mise en page, la qualité du papier, les illustrations et l'absence quasi totale de fautes typographiques en rendent la lecture agréable. Ce livre aura une grande utilité comme référence sur l'écologie des marais salants aussi bien que comme référence exemplaire pour des cours sur les méthodes d'étude des écosystèmes.

Austin REED

*Division des oiseaux migrants*  
*Service canadien de la faune*  
*Environnement Canada*  
*Sainte-Foy (Québec)*

KERFOOT, W.C. (édit.), 1980. **Evolution and ecology of zooplankton communities.** — University Press of New England, Hanover, New Hampshire, U.S.A., 793 p., 19 × 26 cm. Relié, 45 \$US.

Ce volume renferme les comptes rendus d'un symposium tenu en avril 1978 au Dartmouth College, Hanover, New Hampshire. Ce symposium fait partie d'une série de conférences spéciales patronnées par l'*American Society of Limnology and Oceanography* (ASLO). Il avait pour objectif de faire

le point sur la recherche en cours sur l'écologie du zooplancton.

Le volume est divisé en 10 chapitres. Le 1<sup>er</sup> chapitre analyse l'adaptation du zooplancton aux conditions physiques de l'environnement, la viscosité de l'eau, ses propriétés optiques et chimiques. Les résultats présentés montrent comment la viscosité du milieu aquatique devient une composante déterminante de l'environnement à l'échelle des organismes zooplanctoniques et comment les organismes y sont adaptés par leurs caractéristiques morphométriques, leurs comportements de nage et d'orientation ainsi que leurs micro-récepteurs chimiques ou mécaniques. L'importance de cette adaptation par rapport aux rencontres prédateurs/proies et au comportement d'accouplement fait l'objet d'une attention spéciale. Le 2<sup>e</sup> chapitre est consacré au phénomène des migrations verticales nyctémérales du zooplancton. On y traite des relations de ce phénomène avec les variations d'éclairement, de température, la concentration d'O<sub>2</sub> dissous, la concentration de nourriture, l'âge des individus, la composition et les relations trophiques à l'intérieur de la communauté. L'importance de ces migrations par rapport au bilan énergétique, la fécondité et les relations prédateurs/proies sont également au nombre des sujets discutés. Le chapitre suivant contient trois articles qui portent sur le groupe des rotifères. Les deux premiers articles traitent d'aspects qualitatifs et quantitatifs de la nutrition de deux espèces de rotifères, l'une herbivore, l'autre omnivore et prédatrice. Le troisième article présente une technique de culture en laboratoire d'une espèce commune de rotifère. Le 4<sup>e</sup> chapitre analyse les mécanismes de récolte de la nourriture et de filtration des copépodes. Des découvertes récentes qui ont marqué un progrès important de la recherche dans ce secteur y sont présentées. Un premier article retient l'attention sur des travaux de microscopie électronique sur la structure et le rôle des mécanorécepteurs, situés sur les antennes des copépodes, et des chimiorécepteurs, rencontrés au niveau des pièces buccales et des appendices reliés à l'alimentation. Les autres articles traitent, par différentes approches originales, des mécanismes de capture et de sélection active de la nourriture par les copépodes. On y retrouve entre autres les premières évidences de chimiotactisme dans les processus reliés à l'alimentation et de rejet actif de la nourriture sans valeur alimentaire. Le 5<sup>e</sup> chapitre poursuit sur certains aspects de l'interaction zooplancton/phytoplancton. On y discute du rôle de la remise en disponibilité d'éléments nutritifs par le zooplancton herbivore pour la croissance du phytoplancton, des seuils de concentrations phytoplanctoniques nécessaires pour la survie et la reproduction d'une espèce de daphnie, de la compétition interspécifique entre daphnies en rapport avec la taille des cellules phytoplanctoniques, ainsi que des effets de la forme, de la maniabilité et des propriétés toxiques de certaines espèces de phytoplancton sur la diète et les stratégies alimentaires des herbivores. Le 6<sup>e</sup> chapitre porte sur la démo-

graphie, la reproduction, la génétique et l'évolution des populations et des groupes zooplanctoniques. Il traite de l'importance des forts taux de mutations chez les cladocères et les rotifères à reproduction essentiellement parthénogénétique, des causes de la grande variabilité génétique entre populations voisines, de l'isolement et des échanges entre populations, des effets des facteurs environnementaux et de la prédation sur la taille des individus et sur la sélection de l'habitat, des stratégies de reproduction ainsi que du phénomène de diapause chez les cyclopoïdes. Le chapitre suivant réunit des travaux traitant des changements saisonniers de morphologie des organismes. On y montre que ce phénomène de cyclomorphose, particulièrement important chez les cladocères et les rotifères, peut résulter de divers facteurs, entre autres, d'une adaptation aux variations saisonnières de l'environnement, d'une croissance différentielle des différentes parties de l'organisme, d'une composante génétique de la succession saisonnière des populations ou d'une adaptation contre les prédateurs. Le 8<sup>e</sup> chapitre porte sur les relations prédateurs/proies à l'intérieur de la communauté zooplanctonique. Parmi les aspects étudiés, on trouve des analyses du comportement de prédation et des mécanismes de défense des proies, des analyses du taux de prédation en fonction de la densité des proies, la température et l'abondance du phytoplancton, des travaux sur les processus de sélection des proies par les invertébrés prédateurs et les poissons planctonophages, des études de l'importance de la vision, de la pigmentation ainsi que de la transparence comme moyens de défense contre les prédateurs, et finalement une expérience sur les effets de l'introduction d'un prédateur sur la composition de la communauté. Le 9<sup>e</sup> chapitre traite de la variabilité spatio-temporelle de la communauté zooplanctonique. On y discute principalement de la variabilité à grande échelle, l'échelle saisonnière ou régionale ou l'échelle du continent ou des périodes géologiques. Les travaux présentés comprennent des études de la variabilité dans un lac en fonction de l'éloignement de la rive et du rôle des prédateurs dans le contrôle de cette variabilité, des analyses de groupes de lacs en fonction de leurs caractéristiques physiques et chimiques et de la structure de leur chaîne trophique ainsi que des études de la variabilité à plus grande échelle, biogéographiques et paléolimnologiques. Le dernier chapitre comprend des études expérimentales et théoriques sur la dynamique de la structure de la communauté. On y trouve les résultats d'une expérience sur les effets de la variation de la concentration d'éléments nutritifs sur les différents niveaux trophiques, deux analyses critiques de certaines approches utilisées pour l'étude de la dynamique des interactions dans la communauté et finalement un modèle du flux d'énergie dans les écosystèmes pélagiques basé sur la distribution de taille des particules.

Le vaste éventail de sujets discutés dans ce volume permet d'offrir une vue d'ensemble de la recherche en cours sur l'écologie du zooplancton.

La plupart des travaux sont principalement orientés vers les communautés zooplanctoniques d'eaux douces ; seuls quelques-uns réfèrent directement au zooplancton marin. Toutefois, plusieurs articles, notamment ceux qui ont trait aux propriétés du milieu aquatique et aux mécanismes de récolte et de sélection de la nourriture, développent des sujets d'intérêt général qui s'appliquent tant aux espèces marines qu'aux espèces d'eaux douces. Certaines parties d'articles présentés dans ce volume ont déjà été publiées dans des périodiques. Pour le lecteur averti, cette redondance allonge indûment les textes mais, pour d'autres, elle offre l'avantage d'étoffer certains sujets en y réunissant tous les résultats pertinents. Le volume est édité avec soin dans le style de la revue de l'ASLO. Il comprend un index des espèces et un index général qui ajoutent à la forme habituelle des éditions de comptes rendus de conférences.

Cet ouvrage rend compte du regain de dynamisme qu'a connu ce domaine de recherche au cours de la dernière décennie. On y retrouve les controverses qui ont stimulé les travaux dans plusieurs champs d'activité ainsi qu'une présentation détaillée des découvertes récentes et des concepts nouveaux. C'est sans doute un événement marquant de la recherche sur l'écologie du zooplancton au cours des dernières années.

Yvan SIMARD

GIROQ

Département de biologie  
Université Laval

CLARKE, A. H., 1981. **Les mollusques d'eau douce du Canada.** — Musée national des sciences naturelles, Musées nationaux du Canada, Ottawa, 447 p., 18 × 25 cm. Relié, 39,95\$.

Cet ouvrage d'identification des mollusques dulcicoles du Canada, très bien présenté et édité, comble incontestablement une lacune dans les ouvrages d'identification de la faune aquatique.

La qualité des planches photographiques, une par espèce, des 54 illustrations en couleur, et la clarté du texte permettent une identification facile avec un minimum de connaissances zoologiques. Les cartes de répartition géographique sont également claires et précises.

En revanche les indications écologiques sont assez sommaires et renferment curieusement des données plus morphologiques qu'écologiques (caractéristiques de la radula, du pénis, coloration, etc.). On peut aussi regretter que la bibliographie soit réduite à une « bibliographie sélective » d'ouvrages généraux qui ne comprend pas de nombreuses références citées dans le texte.

L'éditeur avertit que cet ouvrage s'adresse aussi bien aux scientifiques qu'aux collectionneurs ; cela se ressent dans la conception de l'ouvrage et les

scientifiques auraient certainement souhaité une version plus complète et plus approfondie. Il n'en reste pas moins que nous disposons là d'un excellent ouvrage d'identification.

Guy MOREAU

Département de biologie  
Université Laval

RYMAN, N. (ed.), 1981. **Fish gene pools. Preservation of genetic resources in relation to wild fish stocks.** — Ecological Bulletins, no. 34. Swedish Natural Council, Stockholm, 111 p., 16 × 24 cm. Soft cover, 16 \$US.

In the last decade significant progress has been achieved in fish genetics. Two areas of investigation receiving considerable attention are the determination of the genetic structure of wild populations using electrophoretic and cytogenetic techniques and determining the genetic and environmental sources of variation in life history and production characteristics in both wild and domesticated hatchery populations. Information derived from these investigations is being used to formulate public policy on the exploitation of dwindling wild stocks and to show how fish culture can best be used to augment natural production.

*Fish Gene Pools* is a collection of 9 papers presented at the International Symposium of Fish Gene Pools ; Preservation of Genetic Resources in Relation to Wild Fish Stocks, held in Stockholm, January 23-25, 1980. Organized by the Swedish Commission for Research on Natural Resources and the Swedish Council for Planning and Co-ordination of Research, its purpose was to discuss the influence of human activity on genetic attributes of fish populations and to provide a set of working guidelines for the management of fish populations. The volume addresses the basic question: can current fish culture and enhancement technology be used to mitigate the extinction of fish stocks without threatening the genetic integrity of the remaining stocks ?

Before reviewing the contributions, a caveat is necessary: with the exception of two North American papers, all contributions are from Swedish or Norwegian investigators and only one paper discusses non-salmonid species. The conclusions and recommendations may or may not be generally applicable to other groups of exploited fishes. Finally, the contributions do not provide detailed background or justification for the methods used and little new data are presented. Most contributions are very readable summaries of previously published detailed works.

The first paper, "Rationale for conserving genetic variation of fish gene pools" by Smith & Chesser, outlines the justification for gene resource conservation. Their theme is that genetic variation underlies life history variation within species, and

that genetic divergence among species is necessary for the niche partitioning observed among related species. They argue that ecosystem stability requires the maintenance of genetic variability within species, and maintenance of species diversity within communities. They support their theme by drawing largely from electrophoretic studies. Specifically, they use evidence of allele frequency clines, seasonal shifts, and differences in lentic and lotic environments to demonstrate single-locus effects. Correlates between heterozygosity and fitness parameters are used to demonstrate multi-locus effects. They conclude by advocating management plans that conserve existing genetic variation and caution that selective breeding of hatchery reared fish which are subsequently released to breed with wild populations could have detrimental effects.

The next paper "Salmonids in the Lake Vanern area" by T. Ros presents an informative account of the loss of salmon and trout stocks from an important fishery. Ros describes the stocks which have become extinct, life history variation in the remaining stocks, as well as threats to the remaining stocks. He provides important insight into the practical problems associated with both artificial culture and attempts to rehabilitate natural spawning grounds. He concludes that the best way to save the remaining genetic diversity is through large scale habitat protection. He suggests that wild fish could provide the broodstock for artificial production on a continuing basis, rather than developing domesticated strains.

T. Giedrem's contribution "Conservation of fish populations in Norway", discusses various alternatives for maintaining stocks of Norwegian Atlantic salmon and brown trout. He first states that strains must be kept genetically isolated from one another. Three alternatives are: 1) the storage of sperm and eggs; 2) the propagation of individual strains in captivity; and 3) strain maintenance in the natural environment. Alternative number one is not technically feasible at present, and alternative number three is impractical for logistical reasons. Norwegian fish managers decided to use alternative number two, and salmon and trout egg banks are being developed. The protocol is to maintain sperm by freezing and periodic wild collections. Eggs are provided by females maintained in captivity. Approximately 10,000 eggs are hatched each year for each strain, with smolts being reared in sea-cages at two sites. No selection will be carried out.

Three papers analyze salmonid electrophoretic data. Allendorf & Phelps summarize their work with rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in North America while Ryman, and Stahl examine Swedish work with brown trout *S. trutta* and Atlantic salmon *S. salar* respectively.

Allendorf & Phelps describe the application of electrophoresis to fisheries problems and include a brief presentation of the genetic and molecular interpretations of starch gel isozymes. They outline

the necessary steps in designing and initiating an electrophoretic study and demonstrate three uses of the data. The first is a description of macrogeographic variation in rainbow trout, the second is the identification of native vs. stocked hatchery trout, and the third is the examination of introgression between rainbow and cutthroat trout, *Salmo clarki*.

Ryman's study of brown trout is of similar design and intent. These two studies complement each other nicely and demonstrate how electrophoresis provides a basis for making inferences about microgeographic demography. Allendorf & Phelps find genetic variation within populations of *S. gairdneri* accounting for 92% of the total genetic variation and only 8% due to differences between populations. This contrasts sharply with the genetic heterogeneity Ryman reports for *S. trutta* populations in the River Fjällsjöälven and Lake Lulejaure systems. An extreme example is Lake Bunnarsjöarna where two populations of brown trout with different growth rates were detected because they are fixed for alternate alleles at an LDH locus. Stahl presents evidence that Atlantic salmon populations exhibit significant allele frequency heterogeneity at four polymorphic loci. However, when all 45 loci he examined are included the result is quite similar to rainbow trout with 9% of the variation between populations and 91% within populations.

Rasmuson's paper, "Some aspects of available resources of genetic variation", compares the sources of potential genetic variation and discusses parameters that will effect these sources. He points out that variation can occur at three levels, the allele, the locus, and the genome. Allelic variation is increased continuously by mutation, and sometimes by introgression (or migration) from other populations. Selection and drift will cause decreases. Variation within a locus results from combining mutant alleles in diploid individuals. If mating is random within a population, the expected frequency of genotypes is expressed by the Hardy-Weinberg equilibrium. With assortative mating or inbreeding the population will become subdivided and homozygosity will increase. Variation at the genome level results from the polygenic and epistatic effects of combining loci. Sexual reproduction, through the action of meiosis, will generate new gene combinations each generation and can break up co-adapted gene complexes which are not protected by chromosomal mechanisms. Biometric, chromosomal, and electrophoretic methods are presented as ways to look for genetic variation in populations. If programs to preserve genetic variation cannot be successfully designed, he recommends that fish culture should emphasize selection for physiological flexibility.

There are two papers that deal almost exclusively with fish culture. In the first, Johansson examines the contributions of hatchery reared smolts to the Baltic fishery, as well as attempts to improve production. In the second, Naevdal reviews the quantitative genetic studies associated with

cage-reared semi-domesticated stocks of rainbow trout and Atlantic salmon in Norway.

Johansson documents the first attempts to improve recruitment into the Baltic salmon fishery in the 1860's using fingerling plants. This, and subsequent efforts to use yearling parr were not successful. During the 1950's smolts were planted instead of parr, and there have been considerably better results. Currently, 60% of the recruitment to the Baltic salmon fishery is from hatchery reared smolts.

Tagging experiments have been used to evaluate the effectiveness of the smolt release program. The overall return rate is approximately 14%, with a range of 0% to 45%. There are no clear explanations for the variation, but certain trends are believed to exist. First, the main losses are during the first weeks following release. Disease, size at release, water temperature at release, and release techniques are thought to effect smolt quality and influence the returns to the fishery.

Naevdal provides a brief account of the development of the Norwegian salmon culture industry. In contrast to the Swedish attempts to provide a fishery by stocking hatchery fish into the wild, the Norwegians have chosen to control the entire life cycle. Eggs are hatched and reared to smolts in freshwater and then maintained until harvest or maturation in net-pens in the sea. Rainbow trout, Atlantic salmon, arctic char, char x Atlantic salmon hybrids, pink, chum, and coho salmon have all been used in rearing trials. Rainbow trout and Atlantic salmon are now established as the principal species in Norwegian aquaculture. Breeding programs for these species are underway. The current emphasis is on selection for growth rate and age of maturity, with minor interest in disease resistance, flesh quality and body shape. Genetic variation has been detected in most characters and there should be gains from selective breeding.

The purpose of the symposium was to provide information on fish genetics and stock assessment to individuals responsible for public policy decisions. Publication of the proceedings provides an interesting and easily read compendium on our current knowledge of the genetic basis of stock differences, stock extinction, and the controversial role fish culture may have in their maintenance and restoration.

This book would make an excellent starting point for lectures and readings in fish genetics for courses in fish management. Additionally, North American geneticists unfamiliar with Scandinavian research should find the book quite interesting.

Eric J. LOUDENSWAGER

*Salmon Genetics Research Program  
North American Salmon Research Center  
Huntsman Marine Laboratory  
St. Andrews, New Brunswick  
E0G 2X0*

GAUTHREUX, S.A. Jr. (édit.), 1980. **Animal migration, orientation and navigation.** — Academic Press, 387 p., 16 × 24 cm. Relié, 50,70\$ US.

Cet ouvrage traite de cinq thèmes majeurs de la migration animale : l'écologie et l'évolution de la migration, l'influence des changements climatiques, l'énergétique, la physiologie et les mécanismes d'orientation. On y trouve inclus des renseignements provenant de différents groupes taxonomiques, fournissant ainsi un point de vue comparatif à l'intérieur de chacun de ces grands thèmes. Il est évident qu'une telle approche comparative ne produit pas toujours des ouvrages clairs et faciles à lire, et dans ce cas-ci, il en résulte une collection d'articles dont la qualité et la valeur sont quelque peu inégales.

Le premier chapitre, par H. Dingle, traite de l'écologie et de l'évolution de la migration. En dépit de l'énormité et de la disparité de l'information traitée, ce chapitre est un des plus intéressants et des plus faciles à lire. À partir d'exemples tirés des organismes planctoniques aux mammifères, Dingle démontre l'importance de considérer la migration comme partie intégrante de la stratégie du cycle vital (*life history strategy*) et place ainsi l'étude de la migration au cœur de l'écologie évolutionniste moderne. Le deuxième chapitre traite des influences des changements climatiques à long et à court terme sur la dispersion et la migration des organismes. S. Gauthreaux présente un mélange de théories et d'informations traitant des distributions biogéographiques, des changements paléoclimatiques et réponses biotiques, des périodicités climatiques annuelles et des migrations saisonnières, et des périodicités nyctémérales et des réponses migratoires. C'est un chapitre intéressant, mais étrange pour un tel livre et il laisse l'impression de ne pas être en harmonie avec l'ensemble.

L'énergétique de la migration est longuement révisée par C. Blem. Ce chapitre constitue une bonne source de références sur l'emmagasinage et l'utilisation du carburant migratoire, bien que sa lecture en soit gênée par les interruptions fréquentes de l'auteur qui présente de longues listes de citations.

Le quatrième chapitre, par A. Meier et A. Fivizzani, traite de la physiologie de la migration et s'avère le plus au point du livre. Les auteurs présentent un compte rendu persuasif démontrant que les mécanismes circadiens semblent jouer des rôles importants dans l'engraissement pré-migratoire, l'agitation et l'orientation migratoire des oiseaux. Ils affirment que bien que la longueur du jour soit un important synchroniseur environnemental pour la migration, le synchroniseur principal pour le cycle annuel de migration et de reproduction est un mécanisme circannuel endogène impliquant des changements saisonniers dans les relations temporelles de deux oscillateurs circadiens. Les rythmes circadiens de l'hormone corti-

costéroïde et de la prolactine semblent être des manifestations des deux oscillateurs circadiens. De même pour les poissons, les auteurs présentent un modèle dans lequel les relations temporelles de deux oscillateurs circadiens, telles qu'exprimées par les rythmes circadiens de l'hormone corticostéroïde et de la prolactine, varient selon la température ambiante, expliquant plusieurs des effets de température sur les conditions métaboliques et comportementales. Cependant les auteurs ne considèrent pas d'autres mécanismes. De plus, seulement les poissons et les oiseaux sont examinés en profondeur, au point tel que la conclusion des auteurs, qui dit que les mécanismes physiologiques de base de la migration animale semblent avoir peu divergé, paraît plutôt prématurée.

Le dernier chapitre, par K. P. Able, traite des mécanismes d'orientation, de navigation et de «homing». Il représente un effort plutôt décevant pour réviser les plus récents progrès du savoir dans ce domaine. Les parties les plus intéressantes du chapitre traitent de l'orientation basée sur le champ magnétique de la terre et la présence de la magnétite chez plusieurs espèces, et du phénomène de l'intégration des indices d'orientation et de la redondance des capacités d'orientation chez beaucoup d'animaux.

De façon générale, la faiblesse de ce chapitre symbolise le défaut majeur de cet ouvrage. L'étude de divers aspects de la migration animale a généré une littérature énorme, laquelle en retour a généré depuis environ 1978, un nombre de volumes qui s'accroît rapidement dans ce domaine. Malheureusement, la plupart de tels ouvrages ne formulent pas de nouvelles hypothèses et perdent ainsi leur valeur presque aussi rapidement qu'ils sont publiés. Dans le développement des études sur la migration animale, une publication qui démontre de l'originalité et de la perspicacité vaut beaucoup plus que des révisions répétitives.

Si vous n'êtes pas en possession d'une révision de la littérature récente sur la migration animale, mais désirez être initié(e), cet ouvrage est aussi bon qu'un autre. Si vous travaillez déjà dans le domaine de la migration animale, je ne crois pas que cet ouvrage, dans son ensemble, puisse vous éclairer ou vous stimuler.

Julian DODSON

*Département de biologie  
Université Laval*

GILLES, R. (édit.), 1980. **Animals and environmental fitness**. Volume 1 : Invited lectures, 619 p.; Volume 2 : Abstracts, 186 p. Pergamon Press, Oxford, England, 18 x 26 cm. Reliés, 105\$ US et 46\$ US.

Ce livre est l'heureux résultat du premier congrès de la Société européenne de physiologie et

biochimie comparée qui a eu lieu à Liège, Belgique du 27 au 31 août 1979. Comme le décrit le sous-titre, le but du congrès était de mettre en évidence les aspects biochimiques et physiologiques de l'adaptation et de l'écologie. Pour quiconque est intéressé à l'évolution, à l'écophysiologie, à la physiologie comparée ou à la biochimie comparée, ce livre est un vrai plaisir à lire et serait un bon ajout à une bibliothèque personnelle.

Les articles sont regroupés en deux sections : une première sur les facteurs chimiques de l'environnement et une deuxième sur ses facteurs physiques. Dans la première section des questions sur la disponibilité de l'eau et de l'oxygène sont considérées à plusieurs points de vue. En outre, cette section contient quatre articles sur les écomones et trois sur les réponses aux polluants. Dans la deuxième section, l'importance des facteurs physiques, tels que la température, la pression et la photopériode, est discutée dans une quinzaine d'articles. Deux des séries d'articles m'ont plu particulièrement : celle traitant des adaptations pour l'aérobie et l'anaérobie (un symposium organisé par C. Mangum) et celle traitant de l'importance de la température comme facteur dans l'adaptation et l'évolution des organismes (un symposium organisé par M. Gilles-Baillien). Dans ces deux séries, les articles se complètent très bien et le lecteur en sort avec une bonne compréhension des idées centrales dans ces deux domaines de recherche. Les quatre articles sur les écomones suscitent également un grand intérêt, mais ils ne constituent qu'une introduction à un nouveau domaine de recherche. En gros, l'organisation du livre est bien pensée et se prête bien à un transfert d'information efficace et stimulant. Cependant, il y a, dans le texte, de nombreuses petites fautes qui brisent le rythme de la lecture.

Bien qu'il soit difficile de réagir en détail à chaque article dans l'espace d'une revue de livre, il me semble important de signaler que quelques articles sont d'une qualité et d'un intérêt supérieurs. Ainsi, les articles de W.H. Dantzier («Renal mechanisms for osmoregulation in reptiles and birds»), de J. & C. Bonaventura («Respiratory proteins: molecules interfaces between the organism and its environment»), de C. Mangum («Distribution of respiratory pigments and the role of anaerobic metabolism in the lamellibranch molluscs»), de M.S. Blum («Arthropods and ecomones: better fitness through ecological chemistry»), de C. Kayser («Living organisms and low ambient temperatures»), et de A.L. de Vries («Biological antifreezes and survival in freezing environments») sont non seulement une bonne revue de littérature, mais présentent aussi une synthèse d'informations qui incite le lecteur à aller plus loin avec ses propres questions. C'est justement ce dernier aspect qui rend le livre très utile pour des fins d'apprentissage personnel ou pour des fins d'enseignement.

Le tome 2 contient des résumés des présentations du congrès. Le lecteur est donc confronté



avec des petites bouchées d'information sur les mêmes thèmes qui sont présentés dans le tome 1. Ces résumés sont utiles seulement dans la mesure où le lecteur s'intéresse aux précisions dans un domaine donné. L'achat de ce volume est donc beaucoup moins conseillé que celui du tome 1.

Helga GUDERLEY

*Département de biologie  
Université Laval*

GILLETT, J.M. & N.K.B. ROBSON, 1981. **The St. John's-Worts of Canada (Guttiferae)**. — Publications in Botany, no. 11, National Museums of Canada, Ottawa, 40 p.

Il s'agit d'une présentation à jour de la taxonomie de cette famille au Canada. Les espèces y sont documentées par des descriptions fort complètes, des illustrations pleine page au crayon de plomb très réussies, des cartes de distribution de format adapté et des clés d'identification. De plus, au début de l'ouvrage, des nombres chromosomiques sont présentés en tableau, alors que des photographies d'akènes sont réunies à la fin.

Pour les non-spécialistes et pour les autres, ce travail est indispensable; il contient des informations de base liées par d'utiles et intéressants commentaires taxonomiques et biologiques. On notera cependant que les herbiers consultés pour la confection des cartes sont omis. De consultation facile et agréable — quoique personnellement je crois que des dessins sur fond blanc auraient gagné en clarté — cette excellente publication, gratuite de surcroît, est un outil essentiel pour tous ceux que la flore intéresse.

Martin DUBÉ

*Département de biologie  
Université Laval*

GIVEN, D.R. & J.H. SOPER, 1981. **The arctic-alpine element of the vascular flora at Lake Superior**. — National Museums of Canada, National Museum of Natural Sciences, Ottawa. Publications in Botany, no. 10, 70 p., 23 fig., 18,5 × 25 cm. Broché à cheval. Gratuit, sur demande.

La phytogéographie est une discipline qui repose sur la synthèse de données de nature très diverse (écologiques, climatologiques, géomorphologiques, floristiques, taxonomiques, palynologiques, tant actuelles qu'historiques. Elle ne peut s'exercer pleinement que dans des régions où ces éléments sont bien connus et où l'exploration botanique ne date pas d'hier. C'est dans une région qui réunit la plupart de ces éléments que se situe le travail de Given & Soper. Les naturalistes avaient remarqué depuis longtemps la pré-

sence de communautés végétales semblables à celles de la toundra autour du lac Supérieur mais personne encore n'avait documenté et étudié à fond le phénomène dans cette région. L'ouvrage de Given & Soper est une intéressante synthèse des travaux amorcés par d'autres, mais repose davantage sur les données inédites des auteurs qui ont visité des secteurs de la rive nord du lac Supérieur qui n'avaient été que peu ou pas explorés. Ils ont également inventorié des stations nouvelles à quelques endroits à l'intérieur des terres.

Les auteurs présentent d'abord un historique de l'exploration botanique du lac Supérieur en signalant les principaux éléments arctiques-alpins qu'on y mentionnait. Ils s'attardent ensuite à définir ce qu'ils entendent par élément arctique-alpin et présentent leur sélection de 48 taxons pour la région inventoriée en expliquant les critères qui ont prévalu dans leur choix. On pourra toujours s'objecter quant au choix ou à l'exclusion de tel ou tel taxon — ils admettent eux-mêmes que l'unanimité est difficile à obtenir — mais on ne pourra certes pas leur reprocher d'avoir fait des choix subjectifs. Leurs critères se défendent bien.

Ils présentent ensuite leur méthode d'échantillonnage visant à caractériser le mieux possible les habitats des espèces arctiques-alpines et leur abondance dans ces habitats. En raison de la nature souvent très discontinue de la végétation dans ces habitats et de la grande étendue de la région à couvrir, les auteurs ont préféré utiliser des méthodes d'échantillonnage simples (listes de plantes vasculaires pour chaque site, avec notes sur la structure de la végétation et les caractéristiques du site). Ces données ont ensuite été soumises à une analyse numérique.

Les communautés végétales qui renferment des espèces arctiques-alpines sont réparties en 13 groupes formant 5 classes. Ces classes regroupent: des surfaces rocheuses presque dénudées avec diaclases étroites (classe A); des surfaces rocheuses irrégulières avec larges diaclases et dépressions retenant les eaux de pluie (classe B); divers habitats regroupant des gravières, des plages, des dunes, des tourbières, situés en marge de la forêt boréale ou à proximité du lac (classe C); des escarpements et des talus (classes D et E). Les 13 groupes sont caractérisés quant à leur structure, leur répartition autour du lac Supérieur et l'importance des espèces arctiques-alpines dans leur composition floristique. Des photos illustrent la plupart des classes et des groupes. Cette classification basée avant tout sur la topographie est heureuse et a l'avantage d'être simple à utiliser. On aurait souhaité que la microtopographie soit davantage explicitée et beaucoup mieux illustrée.

Les auteurs présentent ensuite les patrons de répartition de différentes espèces arctiques-alpines du lac Supérieur. Des cartes de répartition de plusieurs espèces illustrent les principaux types de distribution régionale.

Vient ensuite une synthèse des facteurs responsables de la présence de cette flore arctique alpine autour du lac Supérieur. Les auteurs ont retenu les suivants : les microclimats particuliers des rivages (températures plus basses en été, brume épaisse), des canyons et des escarpements, les effets de la neige et de la glace, la nature chimique du substrat, l'humidité du sol et la compétition interspécifique. Ils discutent de l'origine de cette flore arctique-alpine et relatent l'histoire postglaciaire de la végétation jusqu'à aujourd'hui. Un scénario de la migration postglaciaire de la flore arctique-alpine et de sa persistance reliquale dans la région est élaboré à partir des données géomorphologiques et palynologiques régionales et des idées originales des auteurs. En annexe, on retrouve la liste annotée et documentée des 48 taxons étudiés ainsi que la localisation des sites échantillonnés.

Cette étude relativement élaborée et bien documentée est très intéressante. Ce genre de travail, que les Européens sont habitués à réaliser, est malheureusement trop peu répandu dans l'est de l'Amérique du Nord. D'autres régions phytogéographiquement intéressantes comme la Gaspésie, l'Anticosti-Minganie, la région du lac Mistassini, la péninsule de Bruce, parce qu'elles renferment des flores arctiques-alpines reliquales, auraient avantage à être étudiées de la même façon.

Jacques CAYOUILLE

*Herbier Louis-Marie  
Université Laval*

BRODO, I. M., 1981. **Lichens de la région d'Ottawa.** [Traduit de l'anglais par Sylvie Lemieux]. — Musées nationaux du Canada, Musée national des sciences naturelles, Ottawa, *Syllogeus*, n° 29, 149 p., 74 fig., 21,5 × 28 cm.

Les trois articles publiés par I. M. Brodo dans *Trail & Landscape* (1967 et 1972) sur les lichens de la région d'Ottawa ont comblé un tel besoin que la demande a amené l'auteur à réviser complètement ces trois publications et à les intégrer en un seul ouvrage qui forme le numéro 29 de *Syllogeus* (dont il existe aussi une version anglaise).

La principale partie de l'ouvrage (p. 16-123) est consacrée à des clefs d'identification des quelque 370 espèces de lichens qui se rencontrent dans un rayon de 50 kilomètres autour d'Ottawa. L'auteur indique cependant (p. 7) que les clefs s'appliquent « à la plus grande partie de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent » et donc à la majeure partie du Québec habité. Les clefs sont élaborées, au point de comprendre le plus souvent une courte description des espèces, et elles indiquent aussi de manière succincte l'habitat de chaque espèce et son abondance dans la région d'Ottawa. Un avantage majeur de cet ouvrage sur d'autres semblables, comme celui

de Hale, est qu'il couvre non seulement les « macrolichens » foliacés et fruticuleux, mais aussi les espèces crustacées. Environ 80 espèces sont également illustrées par des dessins à l'encre. Les conseils sur la récolte et l'identification des lichens (p. 8-14) ainsi que le glossaire (p. 125-131) seront certainement très utiles au non-spécialiste.

La traduction de Sylvie Lemieux semble excellente. L'auteur doit être chaleureusement remercié d'avoir écrit cet ouvrage qui, tout « provisoire » qu'il soit (préface), permettra aux naturalistes francophones — aussi bien amateurs que professionnels — de pouvoir s'initier à la connaissance des lichens du sud-est du Canada.

Pierre MORISSET

*Département de biologie  
Université Laval*

LEFEBVRE, J., M. BOITARD & J.-F. REY, 1981. **Logiciels d'analyses statistiques multidimensionnelles sur micro-ordinateurs.** — Masson, Paris, 152 p., 16 × 24 cm. Broché, prix non indiqué.

Le développement exceptionnel du parc de micro-ordinateurs en France a conduit au développement de logiciels habituellement réservés à des ordinateurs de plus grande puissance et de plus grande mémoire.

Les trois auteurs de ce livre ont publié, dans ce volume, un ensemble de logiciels d'analyses multidimensionnelles qui peuvent se révéler utiles à ceux qui n'ont pas accès à un « gros » ordinateur, ceux-ci possédant généralement plusieurs logiciels d'analyse statistique tels que SPSS, BMDP, etc.

S'adressant aux spécialistes de ces types de traitement, les trois auteurs décrivent une série de logiciels, écrits en BASIC, pour un micro-ordinateur WANG-2200, allant de la vérification et l'édition des données, jusqu'aux traitements statistiques les plus courants de ces mêmes données : calculs de similitude, transformations de variables, corrélations, composantes principales, coordonnées principales, distance de Mahalanobis, etc.

Étant écrits en BASIC, ces programmes devraient pouvoir se transférer sur n'importe quel autre micro-ordinateur supportant ce langage (ce qui est généralement le cas). De plus, les algorithmes utilisés sont bien écrits, d'une manière algorithmique simple, ce qui est utile lorsque l'on doit, comme c'est le cas ici, recopier les programmes, des erreurs se glissant toujours dans la copie que l'on tape.

Les sorties de résultats produites par l'ordinateur sont assez attrayantes et simples, ce qui, même pour un spécialiste, simplifie également le travail d'interprétation.

Pour terminer, disons que ce livre peut être utilisé par un chercheur qui, tout en ne voulant pas ou ne pouvant pas disposer d'un gros ordinateur, désire quand même disposer d'un ensemble de logiciels traitant des problèmes courants d'analyse multidimensionnelle.

Alain VAUDOR

Département de sciences biologiques  
Université de Montréal

SEARS, M. & D. MERRIMAN (édit.), 1980. **Oceanography: the past**. — Springer-Verlag, New York, 812 p., 16 × 24 cm. Relié, 37,50 \$US.

L'on pourra s'étonner que ce fort volume paru à la fin de 1980 soit la résultante du troisième Congrès international sur l'histoire de l'océanographie, tenu à Woods Hole (U.S.A.) en septembre de la même année. Il s'agit là d'un exemple de très haute efficacité éditoriale, dont les responsables doivent assurément être loués. Si l'on ajoute que cet ouvrage est remarquable par la rareté des erreurs typographiques et que sa mise en pages est très soignée, on est justifié de parler de véritable réussite technique. Pour le plaisir de jeter quelques cailloux dans la mare, exprimons toutefois notre surprise de voir quelques inconsistances dans la présentation des références bibliographiques, celles de quelques articles s'écartant du mode de classement par ordre alphabétique en empruntant un classement numérique ou même, dans un cas, en ignorant tout classement. On pourrait aussi, à juste titre, se formaliser de l'utilisation que font encore certains auteurs, en 1982, d'unités de mesures non conformes au Système international d'unités. Compte tenu de leur faible fréquence, ces fautes ne ternissent en rien cependant la qualité éditoriale générale de ces comptes rendus.

Je serai par ailleurs moins indulgent quant à l'absence de divisions bien identifiées permettant au lecteur de se retrouver dans ce dédale de 69 articles. Les éditeurs nous préviennent, il faut le reconnaître, que le contenu respecte l'ordre de présentation des travaux au congrès, la grande diversité des sujets n'ayant pas toujours permis le regroupement en catégories. On me permettra d'être sceptique à cet égard. La difficulté ne tiendrait-elle pas à un défaut de rigueur dans la sélection de certains articles? Ainsi, pour intéressants qu'ils soient, l'article de J.W. Konvitz sur le développement des ports de mer en contexte urbain, celui de A. Raban sur le développement des ports méditerranéens dans l'Antiquité, celui de R.C. Hohlfelder & J.P. Oleson sur l'archéologie d'un complexe portuaire en Israël... ont bien peu à voir avec l'*océanographie* dans son acception contemporaine. Les textes de B.H. Ketchum sur la pollution industrielle, de W.L. Templeton sur les isotopes radioactifs et de A. Jernelöv sur les hydrocarbures chlorés en milieu

marin sont incontestablement de nature océanographique, mais leur contenu *historique* est, pour employer un euphémisme, d'une minceur extrême. On pourrait aussi citer d'autres exemples où la dimension historique a l'ampleur et la profondeur de celle d'une revue de littérature dans une thèse de 2<sup>e</sup> cycle. C'est notamment le cas de l'étude de K. Kitano sur le «... historical development on the studies on the Kuroshio and the Oyashio». En bref, un tri plus sévère selon de simples critères de pertinence aurait permis d'éliminer une bonne dizaine de travaux de contenu peu océanographique ou peu historique. Un jugement plus sévère sur le fond en aurait inévitablement emporté quelques autres, pour le plus grand bien du lecteur. Le reste aurait alors pu former des blocs cohérents autour de thèmes dominants, comme le développement des concepts et de l'instrumentation océanographique (de 15 à 20 articles), le développement des institutions et les pionniers de l'océanographie (une bonne vingtaine d'articles), les «océanographies» nationales et la coopération internationale (une quinzaine d'articles) et quelques rares cas marginaux par rapport à ces thèmes.

Au sein de ce matériel surabondant, l'excellence voisine le passable et l'analyse bien articulée, l'anecdotique et la banalité. Il n'est certes pas question ici de procéder à un tri systématique, mais il convient sans doute de signaler au bénéfice des lecteurs de cette chronique quelques-unes des meilleures contributions, parmi celles qui pourraient inciter à faire l'acquisition de cet ouvrage, d'ailleurs remarquablement peu coûteux si l'on tient compte de la proportion de bons articles. L'étude de E.L. Mills sur le problème de la faune des eaux intermédiaires de la Province océanique est, à mon sens, la plus fascinante de tout le volume. Non seulement est-elle fort bien rédigée et s'appuie-t-elle sur une recherche *historique* véritable pour déborder la simple opposition d'idées entre Alexandre Agassiz et Carl Chun, mais elle arrive à montrer que l'incapacité d'Agassiz à prélever des animaux dans les couches intermédiaires était vraisemblablement moins liée à des faiblesses techniques qu'aux caractéristiques même des milieux où il pêchait. Le réexamen que fait M. Tomczak de la classification des grandes expéditions océanographiques de Wüst est du plus haut intérêt, en ce qu'il propose des interprétations nouvelles sur les motivations que l'on retrouve à l'origine des grandes expéditions. Les nobles visées scientifiques dont on auréole généralement ces importantes campagnes — même celle du Challenger — auraient contenu beaucoup d'impuretés colonialistes. C'est sûrement l'un des rôles de l'histoire que de démystifier! Une troisième contribution d'importance quant à l'évolution des concepts océanographiques est, à mon sens, celle de A. Herman & T. Platt sur la répartition spatiale du plancton. On y met en relief les interactions entre le développement de l'instrumentation et celui des concepts, d'une façon ordonnée et claire, accessible même aux non-spécialistes de ce domaine.

Enfin il faut, je pense, ne pas passer sous silence l'article de M.C. Hendershott sur le rôle de l'instrumentation dans le développement de l'océanographie physique et la captivante communication de A. McConnell sur la place du thermomètre de Six en océanographie.

Assez normalement, la place occupée dans ce volume par les articles ayant trait au développement des institutions océanographiques et aux hommes qui y ont exercé leur influence est prépondérante. Plus du tiers des articles y sont consacrés. Assez normalement aussi, le congrès se tenant aux U.S.A. et 44% des auteurs étant américains, l'histoire de l'océanographie américaine y est à l'honneur, mais sans ostentation si l'on tient compte de l'importance très grande des institutions américaines dans le développement de l'océanographie, ces dernières décennies. De plus, comme le congrès coïncidait avec le cinquantenaire de *Woods Hole Oceanographic Institution*, il était compréhensible qu'on y parle un peu plus de cette institution — l'une des meilleures —, et pardonnable que s'y trouvent une part de redondances. Parmi les nombreuses pages consacrées à la célèbre institution, les plus significatives sont sans doute celles qu'ont rédigées R.L. Haedrich & K.O. Emery sur sa croissance. On y analyse quantitativement sa productivité scientifique, par le biais du coût moyen par publication et du nombre moyen de publications par chercheur, et l'on retrace l'évolution des champs disciplinaires de 1930 à nos jours. Les statistiques fournies sont sans doute difficilement utilisables pour des fins de véritable comparaison, mais certaines d'entre elles constituent de bons points de repère pour estimer la performance d'autres institutions.

Une bonne vingtaine de contributions touchent l'histoire de l'océanographie dans d'autres pays que les États-Unis. Comme dans le cas précédent, la qualité est très variable. On peut sourire en prenant connaissance des vains efforts

de H. Heberlein pour nous situer le rôle de la Suisse dans le domaine océanographique, mais les détails apportés par d'autres auteurs dans leurs contributions constituent souvent un enrichissement intéressant du bagage encore restreint de la science océanographique. Signalons particulièrement J.M. Oppenheimer (sur la Station zoologique de Naples), L. Saldanha (sur la carrière océanographique du roi Carlos du Portugal), G.T. Houvenaghel (sur la participation belge au développement de l'océanographie) et V.V. Tikhomirov (sur les études d'océanographie géologique dans la Mer Noire). Ce dernier article nous révèle un scientifique peu connu, N.F. Andrusov, pourtant un pionnier des études géochimiques de ce milieu atypique, à la source d'hypothèses de portée fondamentale sur la signification géochimique des organismes vivants. Une mention spéciale me semble devoir être accordée à la fine étude de J. Carpine-Lancre sur le projet avorté d'un congrès international d'océanographie, qui devait coïncider avec l'inauguration du Musée océanographique de Monaco, au début de ce siècle. Les citations inédites d'extraits de lettres de scientifiques alors réputés comptent d'intéressants détails sur les préoccupations des océanographes du temps.

Il n'est guère douteux que cet ouvrage intéressera les océanographes professionnels et amateurs. Il est, dans l'ensemble, fort valable. Néanmoins, sa lecture attentive invite à se rappeler que l'histoire, fut-elle celle de l'océanographie, a ses exigences et qu'il faut plus que quelques documents manuscrits et imprimés ou quelques réminiscences nostalgiques pour en écrire de bons chapitres. *Oceanography: the past* n'en est pas dépourvu.

Guy LACROIX

Département de biologie  
Université Laval

## LIVRES REÇUS

BLANC-LAPIERRE, A. (édit.), 1981. **Humanité et énergie. Besoins, ressources, espoirs.** — Académie pontificale des sciences (Scripta varia, n° 46), 719 p., 17 × 24 cm. Prix non indiqué.

Compte rendu d'une semaine d'étude tenue en 1980 sur l'accessibilité des ressources énergétiques, leurs liens avec l'utilisation des terres, la production de nourriture, les risques écologiques, etc. L'un des huit chapitres est consacré à l'environnement; un autre à l'énergie solaire et un troisième à l'énergie nucléaire. Tous les articles de base sont rédigés en anglais; la discussion, en anglais et en français.

BOTHAM, W., 1981. **Plants of Essex County.** — Essex Region Conservation Authority, Essex, Ontario, 224 p., 21 × 28 cm. Broché, 8,50\$. Vente chez l'éditeur.

Liste des plantes de la région d'Essex, en Ontario. La flore de cette région, considérée comme unique au Canada, comprend 254 espèces, dont plusieurs sont exclusives à la région d'Essex.

COWELL, D., 1982. **Earth sciences of the Hudson Bay lowland: literature review and annotated bibliography.** — Direction générale des terres, Environnement Canada, Burlington, Ontario (Working Paper no. 18), 309 p., 21,3 × 27,5 cm. Broché.

Troisième bibliographie annotée sur les basses terres de la baie d'Hudson. Les deux premières touchaient surtout la biologie, l'océanographie, les sciences sociales. Celle-ci, qui présente une sélection de 240 références, a trait à la géologie, la géomorphologie, les sols, etc.

DELLA CROCE, N. (édit.), 1982. **Seminari internazionali sull'inquinamento marino.** — Gruppo Ricerca Oceanologica, Università di Genova, Italia, 151 p., 17 × 24 cm, broché.

Recueil de contributions au colloque international sur la pollution marine tenu à Gênes (Italie) en 1980. Les articles rédigés en italien (20%), en français (20%) ou en anglais, touchent à la dispersion de la matière en suspension, au comportement physico-chimique des métaux lourds et à leur incorporation dans les chaînes trophiques, aux problèmes de pollution thermique générés par les centrales électriques et aux impacts des émissaires urbains sur les écosystèmes côtiers.

FAY, F.H., 1982. **Ecology and biology of the Pacific walrus, *Odobenus rosmarus divergens***

**Illiger.** — U.S. Fish and Wildlife Service, North American Fauna, no. 74, 279 p., 15 × 23 cm. Broché.

Monographie sur la biologie et l'écologie du morse du Pacifique, l'une des six populations de l'hémisphère nord, dont quatre sont considérées comme appartenant au morse de l'Atlantique. On trouve dans cet ouvrage de nombreux renseignements sur la répartition, les migrations, la morphologie, la croissance, l'alimentation, la reproduction, les maladies, la mortalité, etc.

HARVEY, H.H., P.J. DILLON, J.R. KRAMER, R.C. PIERCE & D.M. WHELPDALE, 1981. **Acidification dans l'environnement aquatique au Canada: critères scientifiques pour évaluer les effets du dépôt acide sur les écosystèmes aquatiques.** — Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Publication n° 18476 du Secrétariat de l'environnement, 377 p., 21 × 27 cm. Broché, 10\$.

Rapport du groupe d'experts réunis par le Conseil national de recherches du Canada pour évaluer les données scientifiques disponibles sur les dépôts acides dans les milieux aquatiques au Canada. On y considère notamment le transport atmosphérique, les aspects géochimiques, biologiques et hydrologiques, et les effets du dépôt acide sur les organismes aquatiques. On y dresse un bilan des connaissances disponibles et en identifie les lacunes principales qui rendent impossible une évaluation exacte du problème.

REPACHOLI, M. H., 1982. **Les ultra-sons: caractéristiques et action biologique.** — Conseil national de recherches du Canada, Ottawa. Publication n° 19245 du Secrétariat de l'environnement, 284 p., 21 × 27 cm. Broché, 8\$.

Analyse des données disponibles sur les effets des ultrasons, mettant en relief les lacunes des connaissances actuelles. On y décrit les caractéristiques des ultrasons et leurs effets aux niveaux des macromolécules, des cellules, des tissus et des organes.

RICHARD, P.J.H., 1981. **Paléophytogéographie postglaciaire en Ungava, par l'analyse pollinique.** — Collection Paléo-Québec, Laboratoire d'archéologie de l'UQUAM, Montréal, 153 p. 21,5 × 28 cm. Broché, 12\$.

Rapport rendant compte des résultats obtenus par l'analyse sporopollinique, dans le cadre d'une étude pluridisciplinaire des modes d'établissement préhistorique autour de la baie d'Ungava. On y examine les relations entre les spectres polliniques et la végétation temporaire et discute

des sédiments lacustres et tourbeux, dans l'optique d'une reconstitution de l'histoire de la végétation et de celle du climat.

ROSS, H.H., C.A. ROSS & J.R.P. ROSS, 1982. **A textbook of entomology.** — John Wiley & Sons, New York, 666 p., 17 × 24 cm. Relié, 25,95\$ US.

Quatrième édition de ce manuel consacré aux divers aspects de l'entomologie fondamentale (taxonomie, évolution, écologie, comportement, physiologie) et appliquée. Cette édition comporte un nouveau chapitre sur les insectes utiles et un autre sur le comportement. Les illustrations sont nombreuses (458 dessins ou photographies) dont certaines prises au microscope à balayage. Chacun des 12 chapitres se termine par une liste de références, qui incorpore des travaux récents. Le chapitre 8 qui présente les principaux ordres d'insectes est assorti de références générales et de références propres à chacun des ordres. Ce chapitre renferme également des clés pour l'identification des familles.

RUTZLER, K. & I.G. MACINTYRE (édit.), 1982. **The Atlantic Barrier Reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize, I. Structure and communities.** — Smithsonian Contributions to the marine Sciences, no. 12, 539 p., 21 × 26,5 cm. Relié, 30\$ US.

Trente-quatre articles présentant les résultats de recherches pluridisciplinaires menées sur le récif-barrière de Belize, dans les Caraïbes. L'ouvrage, très généreusement illustré (232 figures et 5 planches en couleur) contient, outre une introduction générale, cinq parties. La première d'entre elles (6 articles) décrit le milieu physique, la topographie et les structures bio-géochimiques. La deuxième partie (5 articles) traite de l'écologie des communautés planctoniques et benthiques. La troisième (13 articles) a un caractère nettement taxonomique; de nombreux dessins et photographies illustrent cette revue des espèces végétales et animales, dont certaines (chez les pycnogonides, les ophiurides et les anthurides) sont décrites pour la première fois. Dans la quatrième partie (7 articles), l'on aborde certains problèmes spécifiques touchant les algues (la défense chimique) et certains animaux du récif (cycles vitaux, croissance, comportement de fixation, partition des ressources, etc.). La dernière partie (2 articles) de l'ouvrage a un caractère synthétique.

SOPER, J.H. & M.L. HEIMBURGER, 1982. **Shrubs of Ontario.** — Royal Ontario Museum, Toronto, 495 p., 17 × 25 cm. Broché, 20\$.

Guide des arbustes trouvés à l'état sauvage en Ontario. Il comprend des clés d'identification, la description des espèces, de nombreuses illustrations et des cartes de distribution.

WETSELAAR, R., J.R. SIMPSON & T. ROSSWALL, 1981. **Nitrogen cycling in south-east Asian wet monsoonal ecosystems.** — Australian Academy

of Science, Canberra, 216 p., 18 × 25,5 cm. Relié, 25\$ austr.

Comptes rendus d'un colloque régional tenu à Chiang-Mai, en Thaïlande, sous les auspices de l'UNESCO (programme MAB) et du Conseil national de la recherche de la Thaïlande. Il s'agit du second colloque d'une série de trois visant à faire un examen détaillé du cycle biogéochimique de l'azote dans quelques grandes régions du monde ou dans certains écosystèmes majeurs. Le premier de ces colloques, tenu au Nigéria en 1978, avait trait au flux de l'azote dans certains écosystèmes africains; il donna lieu à un ouvrage diffusé par l'Académie royale des sciences de Suède. Le second, dont la parution est ici annoncée, touche l'Asie. Il comprend 17 articles sur le cycle de l'azote dans la culture du riz, la fixation de N<sub>2</sub> ou son rôle comme agent fertilisant dans les rizières. Les 22 autres travaux abordent des questions semblables pour d'autres cultures (le caoutchouc, les légumes, etc.) ou pour de grands écosystèmes (les forêts, la mangrove, les tourbières, etc.), alors que quelques-uns d'entre eux couvrent des sujets fondamentaux au plan méthodologique (techniques de mesure, modélisation, expérimentation, etc.).

WRIGHT, H.A. & A.W. BAILEY, 1982. **Fire ecology. United States and Southern Canada.** — John Wiley & Sons, New York, 485 p., 17 × 24 cm. Relié, 44,95\$ US.

Impact du feu sur les espèces végétales et les communautés de plantes et utilisation du feu comme outil d'aménagement.

X X X X X X, 1982. **Effets du nickel sur l'environnement canadien.** — Conseil national de recherches du Canada, Ottawa. Publication n° 18569 du Secrétariat de l'environnement, 349 p., 21 × 27 cm. Broché, 4\$.

Évaluation des données scientifiques disponibles sur la géochimie du nickel, ses sources atmosphériques et son transport dans l'environnement, sa chimie en milieu aquatique, l'accumulation qu'en font les plantes, etc. Chacun des chapitres est préparé par des experts dans le domaine.

**Revue française des sciences de l'eau.** Vol. 1, 1982. Groupement d'intérêt scientifique pour les sciences de l'eau, Paris (Diffusé par SOMABEC, Case postale 295, Saint-Hyacinthe, Québec J2S 5T5). Abonnement: 280 FF.

Nouveau périodique présentant des résultats inédits de recherche dans le domaine de l'eau, au plan de l'hydrologie, l'hydrogéologie, de l'hydraulique, de la limnologie, des techniques sanitaires, etc. La première livraison reflète cette diversité. On y trouve notamment des travaux sur les oligochètes de lac, sur l'endurance à la nage des truites arc-en-ciel et sur les populations bactériennes autotrophes en milieu lagunaire.

## DIRECTIVES AUX AUTEURS

### ORIENTATION DE LA REVUE

Le Naturaliste canadien (*Revue d'écologie et de systématique*) publie des articles inédits, rédigés en français ou en anglais, *découlant de travaux de recherche* en écologie fondamentale et appliquée, en systématique et dans certains domaines apparentés. Tout manuscrit soumis est l'objet d'une évaluation externe par des pairs.

### PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à *double interligne* sur le recto de feuilles de 21,5 × 28 cm, seront expédiés en *trois* exemplaires à l'adresse suivante: LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4 (Canada).

Les éléments du manuscrit sont les suivants: (1) le titre, le nom de l'auteur, le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur; (2) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces; (3) un résumé français et un résumé anglais; (4) le texte; (5) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains) et les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes).

### TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant: résumé, *abstract*, introduction, matériel et méthodes, résultats, discussion, conclusion, remerciements et références bibliographiques.

On tiendra compte des remarques suivantes: (1) les caractères soulignés d'un trait simple sont composés en italique; (2) les notes inframarginales doivent être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement; (3) pour les unités de mesure, on doit utiliser le SI (système international d'unités).

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles sont indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles sont citées par ordre

alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant de la présentation suivante:

BOUCHARD, A. & P. F. MAYCOCK, 1978. Les forêts décidues et mixtes de la région appalachienne du sud québécois. — *Naturaliste can.*, 105: 383-415.

LEGENDRE, L. & P. LEGENDRE, 1979. Écologie numérique. 1. Le traitement multiple des données écologiques. — Masson, Paris & Les Presses de l'Université du Québec, Montréal, 197 p.

LEVINS, R., 1975. Evolution in communities near equilibrium. — Pages 16-50 in M. L. Cody & J. M. Diamond (eds.). *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 545 p.

Les titres des périodiques doivent être abrégés selon «World List of Scientific Periodicals».

### ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à trois clichés par manuscrit; tous les clichés additionnels sont à la charge de l'auteur.

Les *photographies* doivent être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupe, autant que possible, les photographies sur une même planche, en les collant sur un carton rigide, sans oublier de les numéroter proprement et lisiblement au coin droit. Trois séries sont requises.

Les *dessins* doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage doit être fait à l'aide d'un appareil à dessin. Il doit être suffisamment grand pour avoir, après la réduction finale, au moins 1,5 mm de hauteur. En plus de l'original, on est prié de fournir deux copies de chacun des graphiques.

Dans le cas des dessins et des photographies, bien tenir compte de leur réduction à un format ne dépassant pas 12,5 × 20 cm, légende comprise.

On présentera la liste des légendes sur une page séparée. On indiquera cependant à l'endos des photographies et des dessins le nom de l'auteur et le numéro de figure.

## INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

### EDITORIAL POLICY

Are considered for publication in "*Le Naturaliste canadien*" (Revue d'écologie et de systématique) manuscripts in French or in English, based on *original research* in basic and applied ecology, systematics, and related sciences. Every manuscript will be subjected to normal reviewing process by external referees.

### GENERAL PRACTICES

Manuscripts should be typewritten in *double* spacing throughout, on one side of bond paper 21.5 × 28 cm, and submitted *in triplicate* to: LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4 (Canada).

The sequence of material should be: (1) title, author's name, author's affiliation and address; (2) a running head of no more than 60 letters and spaces; (3) a French and an English abstract; (4) the manuscript proper; (5) on separate pages, Tables (numbered consecutively in Roman numerals) and Figure captions (numbered consecutively in Arabic numerals).

### MANUSCRIPT DETAILS

The arrangement of the contents should generally be as follows: *Résumé*, Abstract, Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgments, and References.

In preparing copy please take the following remarks into account: (1) underscore only where italics are intended; (2) footnotes are to be avoided as far as possible, but if they must be used they should be numbered consecutively; (3) SI units should be used.

### REFERENCES

Literature references in the text should be by author, followed by year of publication. All papers referred to in the manuscript should be listed

alphabetically by first author, according to the following examples:

BOUCHARD, A. & P. F. MAYCOCK, 1978. Les forêts décidues et mixtes de la région appalachienne du sud québécois. — *Naturaliste can.*, 105: 383-415.

LEGENDRE, L. & P. LEGENDRE, 1979. *Écologie numérique. 1. Le traitement multiple des données écologiques.* — Masson, Paris & Les Presses de l'Université du Québec, Montréal, 197 p.

LEVINS, R., 1975. Evolution in communities near equilibrium. — Pages 16-50 in M. L. Cody & J. M. Diamond (eds.), *Ecology and evolution of communities.* Harvard University Press, Cambridge, Mass., 545 p.

Abbreviations for titles of periodicals should follow the "World List of Scientific Periodicals".

### ILLUSTRATIONS

The first three figures of a manuscript will be free of charge. Additional figures will be charged to the author.

Prints of *photographs* should be made on glossy paper with a wide range in tone. They should be cropped, mounted with rubber cement on white cardboard, and clearly numbered at the right corner of each photograph. Three complete sets of photographs must be submitted.

*Drawings* should be made with black india ink on white drawing paper and all lettering should be made with a lettering system. All lettering must be sufficiently large to be at least 1.5 mm on final reproduction. One original and two clean copies of each drawing should be submitted.

Drawings and photographs must be made to a scale allowing reduction to an area not exceeding 12.5 × 20 cm inclusive of captions.

Captions should be typed in paragraph form on a separate page. Each illustration should be clearly labelled on the back, giving the name of the author and the figure number.



*Dans ses deux prochains numéros (3-4)*

**LE NATURALISTE CANADIEN**

Revue d'écologie et de systématique

présentera 60 articles (environ 700 pages) découlant de recherches récentes, dans différentes disciplines, sur la baie d'Hudson et la baie James.

*The next two issues (3-4) of*

**LE NATURALISTE CANADIEN**

Revue d'écologie et de systématique

will contain 60 papers (ca. 700 pages) from recent inter-disciplinary scientific studies on Hudson and James Bay.

**LE NATURALISTE CANADIEN**  
Revue d'écologie et de systématique

Volume 109

1982

Numéro 2

BRAIMAH, S.A., L.A. KELTON & R.K. STEWART. The predaceous and phytophagous plant bugs (Heteroptera: Miridae) found on apple trees in Québec.....	153-180
LÉVESQUE, M.P., S.P. MATHUR & P.J.H. RICHARD. A study of physical and chemical changes in a cultivated organic soil based on palynological synchronization of subsurface layers .....	181-187
GAUTHIER, B. L'étagement des plantes vasculaires en milieu saumâtre, estuaire du Saint-Laurent .....	189-203
GÉHU, J.M. & M.M. GRANDTNER. Les unités symphytosociologiques des sables côtiers des îles de la Madeleine, Québec .....	205-212
WALLEN, D.G. & R. ALLEN. Variations in phytoplankton communities in Canadian Arctic ponds .....	213-221
McMURRAY, S., B. VINCENT & G. VAILLANCOURT. Variations saisonnières de la température de l'eau et cycle de développement de <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède (Oligochaeta: Tubificidae) .....	223-228
DUMONT, P. Dispersion post-glaciaire de l'omble chevalier d'eau douce ( <i>Salvelinus alpinus</i> ) dans le Québec méridional .....	229-234
DAVID, A. Étude monographique du genre <i>Skeletocutis</i> (Polyporaceae) .....	235-272
<b>COMMUNICATIONS BRÈVES</b>	
CODY, W.J. & G.A. MULLIGAN. Chromosome numbers of some Canadian ferns and fern allies .....	273-275
CATLING, P.M. New combinations for forms and varieties of some North American orchids .....	277-278
POULIN, M., C. HUDON & A. CARDINAL. Trois nouveaux taxons de diatomées benthiques estuariennes .....	279-282
<b>REVUE DES LIVRES</b> .....	283-294

# LE NATURALISTE CANADIEN

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE SYSTÉMATIQUE

VOLUME 109

NUMÉRO 3

1982

Recherches sur la baie d'Hudson et la baie James  
*Scientific studies on Hudson and James Bays*

Décembre 1982

Les Presses de l'Université Laval  
Québec

# LE NATURALISTE CANADIEN

Revue d'écologie et de systématique

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR  
GUY LACROIX

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION  
PIERRE MORISSET

## COMITÉ DE RÉDACTION

CYRILLE BARRETTE, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD BERNIER, *Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval*  
ANDRÉ BOUCHARD, *Institut botanique, Université de Montréal*  
CARL M. BOYD, *Département d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*  
EDWIN BOURGET, *Département de biologie, Université Laval*  
PIERRE COUILLARD, *Département des sciences biologiques, Université de Montréal*  
JEAN-MARC DESCHÊNES, *Station de recherches, Agriculture Canada, Sainte-Foy, Québec*  
FERNAND M. GAUTHIER, *Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Ministère de l'Agriculture du Québec*  
PIERRE LEGENDRE, *Département de sciences biologiques, Université de Montréal*  
WILLIAM C. LEGGETT, *Département de biologie, Université McGill*  
JEREMY MCNEIL, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD J. R. PHILOGÈNE, *Département de biologie, Université d'Ottawa*

Publication trimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN (Revue d'écologie et de systématique) publie des articles *inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche en écologie, en systématique et dans certains domaines apparentés. La revue s'intéresse également aux aspects appliqués, notamment dans la perspective des ressources agricoles, forestières et halieutiques du Québec et du Canada oriental et nordique.

LE NATURALISTE CANADIEN est subventionné par le Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et par le Fonds F.C.A.C. du Québec.

Les manuscrits doivent être expédiés à l'adresse suivante : LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

Toute correspondance touchant les abonnements ou les droits de reproduction doit être adressée aux Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4. L'abonnement annuel est de \$ 17 (personnel), \$ 19 (personnel, étranger) et \$ 34 (collectif, *multi-user*). Le numéro régulier se vend \$ 5.

Répertorié dans Biological Abstracts, Asher's  
Guide, Botanical Periodicals, RADAR et Périodex

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement n° 1768

Dépôt légal — Quatrième trimestre 1982. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

Recueil de travaux présentés  
*Selected papers presented*

au / at the

**Symposium sur la baie d'Hudson et la baie James**  
***James and Hudson Bay Symposium***

University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada  
28-30 avril / April 28-30, 1981

RECHERCHES SUR LA BAIE D'HUDSON ET LA BAIE JAMES  
*SCIENTIFIC STUDIES ON HUDSON AND JAMES BAYS*

I

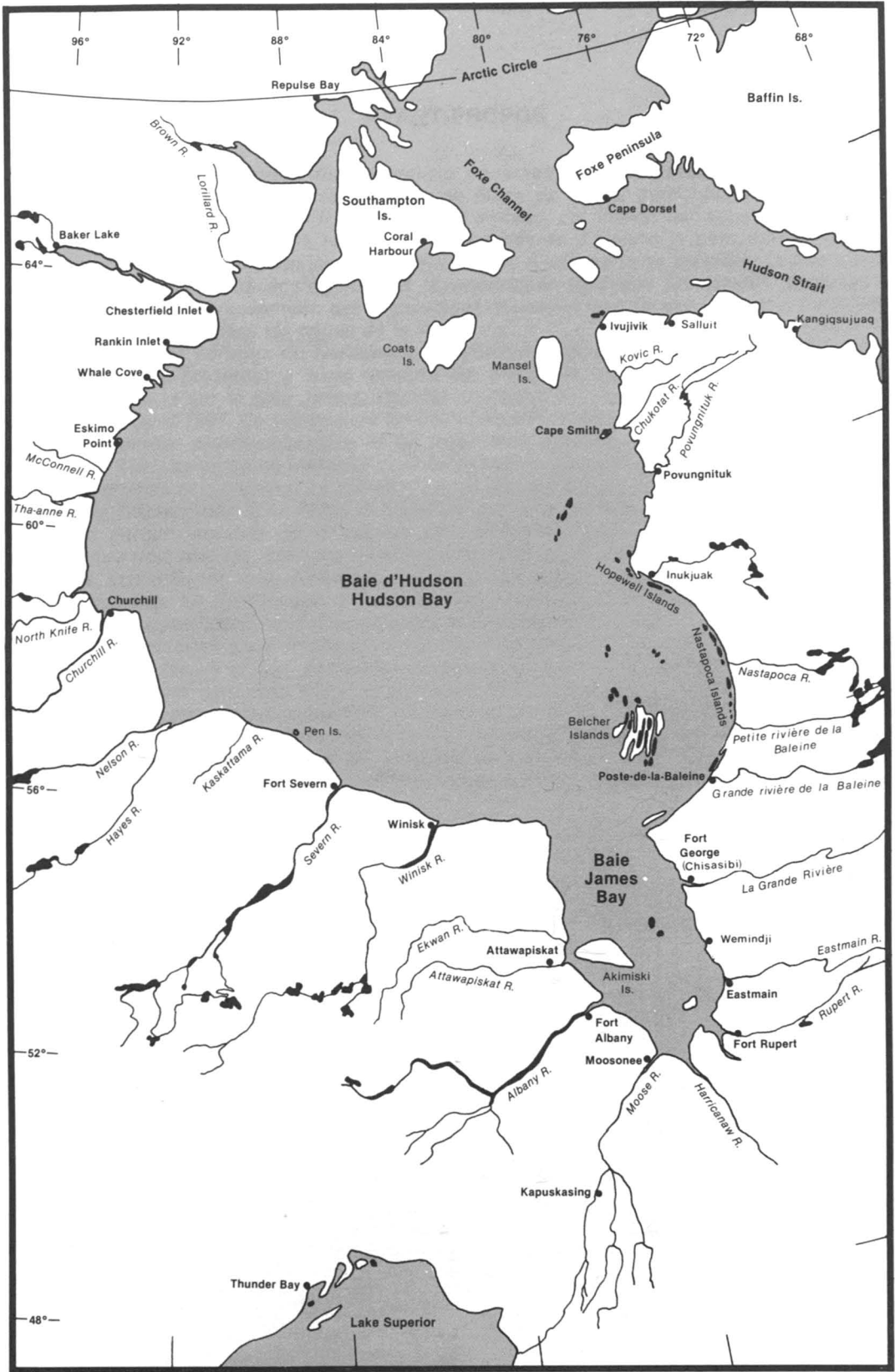
Éditeur en chef / General editor  
I.P. MARTINI

Éditeurs adjoints / Associate editors  
J.W. BERRY, J. DODSON, N.G. FREEMAN, W.A. GLOOSCHENKO,  
R.I.G. MORRISON & J.C. ROFF

Université Laval  
Québec  
1982











## AVANT-PROPOS

*Dans la longue histoire du Naturaliste canadien, la connaissance scientifique des régions nordiques a maintes fois occupé une place de choix, particulièrement en ce qui a trait à la flore et à la faune. Il y a quelques années, cet intérêt est apparu assez grand aux yeux de la Direction de la revue pour qu'on décide d'inclure la perspective nordique dans ses orientations principales et privilégie ainsi, d'une certaine manière, la publication de travaux de recherche écologiques et taxonomiques touchant les milieux arctiques et subarctiques. Malheureusement, ces dispositions nouvelles ne s'étaient pas encore traduites de façon marquante dans les pages de la revue.*

*Dès lors, les éditeurs du Naturaliste canadien ne pouvaient rester indifférents devant la possibilité de présenter à leurs lecteurs cet ensemble impressionnant d'études sur la baie d'Hudson et sur la baie James, résultat du Symposium tenu à l'Université de Guelph (Ontario), en avril 1981. Ce symposium fut un événement scientifique majeur par son ampleur et son caractère pluridisciplinaire. Il se produisit opportunément, après la décennie 1970-1980, période de haute intensité pour la recherche scientifique dans cette aire nordique vaste, diversifiée et complexe. Le moment choisi par ses organisateurs permettait en conséquence la présentation d'un large éventail de données inédites et incitait à faire le point dans un certain nombre de domaines plus avancés. D'autre part, les aménagements d'envergure déjà réalisés, planifiés ou en voie de l'être dans ce territoire commandaient de la part des scientifiques une réflexion plus large que celle fondée sur les données d'une seule discipline. Le Symposium et son corrolaire — la publication d'une sélection de ses travaux — en constituent, croyons-nous, des instruments essentiels.*

*Malgré qu'elles aient impliqué un grand nombre de personnes, depuis l'éditeur en chef, ses co-éditeurs et son personnel jusqu'aux éditeurs et au personnel du Naturaliste canadien, et sans compter l'appui inestimable de très nombreux spécialistes qui ont agi comme arbitres ou comme conseillers, l'évaluation et l'édition d'un nombre élevé de travaux dans des domaines aussi diversifiés sont des tâches extrêmement lourdes. Nous sommes persuadés que les efforts mis à les exécuter le plus parfaitement possible n'auront pas suffi à éliminer toute erreur. Nous osons compter sur l'indulgence tant des auteurs que des lecteurs.*

Guy LACROIX  
Directeur



## INTRODUCTION

I.P. MARTINI

*Department of Land Resource Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1*

### **The region**

Hudson Bay and James Bay form one of the largest inland seas of the world. It is a cold, mesotidal sea with normal salinity in the north and brackish conditions in James Bay. The sea is generally shallow (average depth less than 100 m) covered with ice for approximately 6-8 months of the year, and has a slow (less than 50 cm/s), persistent counterclockwise current.

This sea occupies a very old Precambrian basin partially filled during Paleozoic and Mesozoic times by carbonates and calcareous clastic rocks. Low lying, rugged coasts form where Precambrian rocks of the Canadian Shield outcrop. Wide flat wetlands develop along the shores underlain by Paleozoic sedimentary rocks. In the southwest the Hudson Bay lowland is one of the largest peatlands of the world covering approximately 320,000 km<sup>2</sup>. The range in latitude and the continental climate of the area allow a northward gradation from sporadic permafrost in the southernmost part to continuous thick permafrost in the north. Correspondingly, the vegetation changes from boreal forest in the south to tundra along the coast of Hudson Bay. The area is sparsely populated, with the largest centres being at Moosonee in Ontario and Churchill in Manitoba. It is however, one of the most important areas for staging and breeding of migratory wildlife species, primarily geese, ducks and shorebirds. It also sustains a large population of polar bears.

The area was covered by glaciers during the Pleistocene. The recent sea is a remnant of an early post-glacial Tyrrell Sea that regressed as the land rebounded to isostatic equilibrium. The coastal areas of Hudson-James Bay retain records of the emergent landscape, some extending up to 300 km inland in the Hudson Bay lowland.

Hudson-James Bay, together with the adjacent Foxe Basin, is a unique physical

and ecological system studied only sporadically. Recent hydroelectric development in Québec and a certain amount of offshore exploration for hydrocarbons have spurred some sustained research in the area.

### **Scientific contribution**

The 60 papers of these special volumes represent a selection of those presented at the Symposium on Hudson-James Bay, at Guelph (Ontario) on April 28-30, 1981. Approximately 300 researchers from various disciplines met to present and discuss 94 oral communications and about 15 poster papers dealing with various aspects of Hudson-James Bay and its hinterlands.

The Guelph Symposium had three objectives: 1) To report on ongoing research in the bay and its hinterlands. 2) To foster discussion between scientists of different disciplines. 3) To determine the need for future research in that area.

The papers have been subdivided into ten sections to illustrate the formation of the Hudson-James Bay basin, its evolution, colonization of the land by plants, oceanographic conditions, and the use wildlife and man make of its ecosystems. Innovative techniques used in the study of such a remote area have also been reported.

### **Geology and geomorphology**

This section contains important contributions leading to the reassessment of the various hypotheses proposed for the formation of the basin, and to the re-establishment of the concept of the two centres of Pleistocene glaciation, one in the Keewatin basin and the other in Nouveau-Québec (Labrador Trough).

Other papers deal with sedimentological and geomorphological aspects of the Holocene history of the basin. Fundamental

information is given on the sedimentological regime of those cold estuaries, and emergent coasts. All of these represent pioneering works; much remains to be done, particularly in the quantification of processes.

### **Climatology and permafrost**

The coasts of the basin extend from a non-permafrost area in the south to continuous permafrost in the north. Process-oriented studies and descriptive accounts of permafrost features have been reported from several sites within the continuous permafrost zone.

### **Soils**

Little work has been conducted on pedogenesis, soil classification and mapping of the area. The papers reported here range from an analysis of salinity variations in the soil-sediment column of a coastal marsh in southern James Bay, through descriptive work on incipient gleysols and well developed inland soils formed on dry, uplifted, forested beach ridges of the Hudson Bay lowland. Nutrient input in woodland soils were analyzed at a research site in Québec.

### **Vegetation**

The wide wetlands of the lowland, the forested areas of Québec and the northern tundra are ideal study areas for botanists. A great variety and abundance of species occur. The Hudson Bay lowland in particular, contains one of the largest peatlands on earth. Although the peat of the area may not be economically exploited because of cold and wet conditions, it has evolved on emerging lands and presents an ideal opportunity for the study of peat formation and dynamics. Good descriptions of plants and studies on the inter-relation between species associations have been reported. A paper on the palynology of a small lake in the Sutton Ridges area in the Hudson Bay lowland is of considerable botanical and historical interest. It retrieves in a vertical (time) section the same sequence of plants that occurs today on the surface, from tundra in the north to boreal forest in the south.

### **Mapping and ecological land classification**

Our understanding of the wetland ecosystems improves as new information and techniques become available. New classifications or modifications to older classifications of peatlands and wetlands are made incorporating the new ideas and concepts. Two approaches are shown in this section. One makes use of detailed information obtained from the ground, the second utilizing primarily remote sensing devices and a small amount of ground truthing.

Remote sensing techniques can provide vital information on remote and inaccessible areas. Some innovative techniques were presented at the Symposium, and the preliminary reports in these volumes show the potential of this approach in the study and mapping of wetlands.

### **Physical oceanography**

The first paper is a summary of the history and present status of oceanographic research in Hudson Bay, relating water movement and ice cover to recent estimates of biological productivity. The other papers of the section deal with the salient characteristics of the marine circulations of this inland sea, and more specifically with tidal conditions. It is shown that the fortnightly spring-neap variation in tidal energy is the most important factor in producing temporal changes in the salinity distribution in Chesterfield Inlet, while in Manitounuk Sound to the southeast, the principal non-tidal fluctuations in water level are due to variations in atmospheric forcing. Other papers discussing James Bay describe the tidal circulation of the Eastmain River, and the physico-chemical and biological changes of the river (La Grande and Great Whale) plume under the ice, as affected by the controlled rate of freshwater input from reservoirs built for hydroelectric power production.

### **Marine ecology**

The first paper of this section analyses nutrients, dissolved oxygen, temperature and salinity data to provide new insight on problems of deep water sources, ventilation time, nutrient generation, and primary production in Hudson Bay. The two following papers deal with primary production in

the southeastern part of Hudson Bay. They suggest that ciliates may have a significant role in the food chain of this region as important predators on the nannoplankton and microphytoplankton, and as prey for the larger omnivorous zooplankton. The last three papers deal with the macrobenthic fauna and the fish communities of the estuaries and adjacent marine environments of eastern James Bay. Similar to others dealing with those southern regions, these papers have intrinsic values, for example in establishing the distribution and seasonal migration of certain types of fishes, and at the same time serve as baseline information to determine future changes in those environments.

### **Environmental impact of hydroelectric projects**

This section includes the papers which specifically address problems associated with hydroelectric projects. However, all the other contributions dealing with James Bay and the southeastern part of Hudson Bay provide fundamental input for future assessment of changes in the ecosystem.

The present and future circulation of James Bay as it is increasingly affected by fresh water regulation is analyzed, and a physical model of the La Grande River is used to study the effect of varying discharge on salinity intrusion into the estuary. Other papers of this chapter look at the inland reservoirs themselves and at the various problems associated with their first inundation. Such problems vary from the decomposition of submerged forests, to the regulation of the river flow to inhibit landward penetration of the saline tidal waters permitting migration of fishes, and to study the planktonic production in the newly formed large freshwater bodies.

### **Wildlife biology**

Wildlife is perhaps one of the most advanced sciences in the Hudson-James Bay region. The coastal areas of the basin are vital for the migratory avifauna of America. As such, considerable concern has been expressed by national and international organizations on the effect that developments, such as the hydroelectric one in Québec, may have on the coastal ecosystems and on the avifauna that uses them as breeding and staging habitats. Good

annual surveys have been conducted on the shorebirds, waterfowl, polar bears and caribou. Several studies along the Québec side and along the northern coasts have been reported in previous symposia and have been published elsewhere. In this Symposium the emphasis is on work done along the Ontario coast.

### **Human ecology**

The ultimate user of the ecosystems is man. The coasts of the Hudson-James Bay basin are sparsely populated by Indians in the south and Inuits in the north. In general, communities are small and sociological studies have looked at the adaptations of the native population in response to the increasing exposure to southern civilization. It is to be noted that television has been introduced in several Indian villages only in the past 2-3 years. Other communities are still without.

### **Need for research**

To foster and formalize discussion between scientists and to determine the need for future research, two plenary sessions were scheduled at the Symposium respectively on 'Scientific Studies and Management Relationships' and 'Future Need for Interdisciplinary Research on Hudson-James Bay'. The first session focused on relationships between the "producers" of information in and about the region, and "consumers" of such information. The meeting avoided casting University and Government personnel in the role of sole producers with Native and Industry people as consumers. It was agreed that all "actors on the northern scene" are both producers and consumers of knowledge and information, and that we all have a responsibility to share in ways which are open and free from jargon.

The second plenary session on "Future Need for Interdisciplinary Research", consisted of a series of prepared short statements on geology, vegetation and peat, oceanography, wildlife biology, fisheries, and social sciences. It was followed by discussions from the floor. The unanimous opinion was that although much has been learnt about the Hudson-James Bay region in the last 20-25 years, much remains to be done. Sufficient funds and manpower have not been forthcoming for necessary

process-oriented studies. At the same time, it is realized that whatever is available is not always used to its fullest capacity, for instance sharing logistics among scientists. Furthermore, much of the data and ideas that have been generated by recent multidisciplinary studies are not circulated as fast in the major literature as would be desirable.

Dr. Kate Kranck of the Bedford Institute of Oceanography, speaking about the sedimentological aspects of the bay, indicated that the physical environment of James Bay is dominated by two factors: the estuarine circulation and the very large sediment load. Whereas some pioneering work on circulation has been done, not a single measurement of sediment distribution in the water column has been taken, and its effect on factors such as nutrient cycling and biological productivity cannot be assessed. Dr. Kranck continued by commenting that much of the work presently being carried out in James Bay reminds one of an early geological map where people have done some work extending coloured geological boundaries along the rivers, coasts, and around settlements, but leaving the rest of the map as a white blank.

Dr. Max Dunbar of McGill University pointed out five major concerns relating to oceanographic studies: (1) need of winter studies in the bay, (2) need of study of the biological production of the bay as a whole, not just in small restricted parts, (3) study of sea mammals, at least in parts of the bay where they are known to occur in great abundance, (4) researchers working in the region should produce increasingly relevant information to be used by native people, (5) there is a disturbing lack of interest by Government agencies in Hudson Bay, with the result that little funding for research is forthcoming for the region. It is the responsibility of scientists and managers to continue to make politicians and the public aware of the importance of the region and to try and maintain a satisfactory level of research.

Dr. Julian Dodson of Université Laval, speaking about fish biology in James Bay, indicated that whereas studies on the potential impact on fish populations of developments such as the hydroelectric projects in Québec have their place, researchers should not lose sight of the much more important and fundamental

studies needed concerning fish biology in relation to ambient environmental conditions. Some important aspects of fish biology which should be pursued, include the problem of community structures and multispecies interactions in marginal habitats, and the whole question of reproductive strategies in this area. In terms of fisheries, this is more a problem related to local communities and the stimulus for research should come from the Indian and Inuit communities themselves. The fisheries in Hudson-James Bay have only local importance and it is not believed that they will ever serve a wider market.

Dr. Eville Gorham of the University of Minnesota spoke about terrestrial habitats and in particular about the vast patterned peatlands of the Hudson Bay lowland. We have a good general description of the region and some idea of the major environmental controls on its ecosystems. We need to understand how those ecosystems function and how they developed: only a functional understanding will allow us to predict responses to perturbations. In the Hudson Bay lowland, which exhibits a vegetation succession from very young salt marshes to old peat bogs on land surfaces that emerged from the sea thousands of years ago, there exists a magnificent opportunity to study rates of change in ecosystem properties such as productivity, biomass storage in peat, nutrient cycling, gas flux, and water budget (particularly difficult to analyze in permafrost areas). The global or at least continental significance of the Hudson Bay lowland for geochemical fluxes of carbon, nitrogen and sulfur should be investigated, as should the significance of its unique landscape patterns — the result of a very delicate interaction between vegetation and hydrology — for general ecosystem theory.

Mr. Steven Curtis of the Canadian Wildlife Service, Environment Canada, speaking both as a researcher and manager of wildlife, indicated that there is a strong need for long-range studies to gain a better understanding of how the ecosystems of the Hudson Bay region function and how wildlife populations relate to those ecosystems. Long-range studies are particularly important in arctic and subarctic areas where so-called "bust" years, as experienced by nesting geese for example, occur on an irregular basis. It is unfortunate that

research funds are not readily forthcoming for such fundamental work and whatever is obtained is for short, quick pay-off work, usually after development decisions have been made. Although a considerable amount of work has been conducted in the region on migratory avifauna, research is still needed on: (1) shorebird ecology along the Québec coast, (2) studies of colonial nesting waterbirds such as Arctic tern (*Sterna paradisea*) and black guillemot (*Cepphus grylle*) which nest on the many numerous nearshore islands along the coast, (3) studies of the interchange of polar bears (*Ursus maritimus*) between the James Bay islands and the Cape Henrietta Maria area, (4) studies of eelgrass (*Zostera marina*) beds and measurements of factors influencing their primary productivity, and (5) feeding studies of Canada geese (*Branta canadensis*) and brant (*Branta bernicla*) on eelgrass.

Mr. Mark Cressman of the Ontario Ministry of Natural Resources, commenting on human behaviour suggested that more attention should be paid to communication. Research, even a study well done, has little value if not communicated in a manner that potential users can understand. He offered as example the experience in the Symposium: orally presented papers however good they were, could be understood by only a limited segment of the multidisciplinary audience; a better communication was achieved in the poster papers, where the researchers could interact directly with individuals, and common ground and exchange of experiences could be achieved. He suggested further that a better communication of ideas and data would be of more use than any new study concerning the native population.

### Acknowledgments

The Symposium and the present volume could only be successfully completed because of the combined efforts of many individuals and organizations.

Financial assistance for the Symposium and/or the publication of these volumes was provided by:

Canadian Geological Foundation  
 Canadian National Sportsmen's Fund  
 Fisheries and Oceans Canada  
 Department of Land Resource Science,  
 University of Guelph  
 Environment Canada  
 Hudson's Bay Company

Hydro-Québec  
 Natural Sciences and Engineering Research  
 Council Canada  
 Ontario Ministry of Colleges and Universities  
 Ontario Ministry of Natural Resources  
 Société de Développement de la Baie James,  
 Québec  
 Sogepet Limited  
 The Samuel and Saidye Bronfman Family  
 Foundation  
 University of Guelph

The opening address of the Symposium was given by Prof. D.F. Forster, President of the University of Guelph. An entertaining and informative after-dinner speech was given by Mr. A. Cooke of McGill University.

The members of the Organizing Committee of the Symposium were:

I. Peter Martini (Chairman), Department of  
 Land Resource Science, University of  
 Guelph, Guelph, Ontario  
 J.W. Berry, Queen's University, Kingston,  
 Ontario  
 J. Boulva, Department of Fisheries and  
 Oceans Canada, Québec  
 Carol Bromley, Division of Continuing  
 Education, University of Guelph, Ontario  
 Barbara Brooks, Division of Continuing  
 Education, University of Guelph, Ontario  
 M. Cressman, Ontario Ministry of Natural  
 Resources, Toronto, Ontario  
 J. Dodson, Giroq, Département de biologie,  
 Université Laval, Québec  
 Virginia Gray, Division of Continuing  
 Education, University of Guelph, Ontario  
 W.A. Glooschenko, Environment Canada,  
 Burlington, Ontario  
 N.G. Freeman, Fisheries and Oceans  
 Canada, Burlington, Ontario  
 R.I.G. Morrison, Environment Canada,  
 Ottawa, Ontario  
 J.C. Roff, Department of Zoology, Uni-  
 versity of Guelph, Guelph, Ontario

Mrs. Kelly Beitz and Ms. P. Farnsworth of the Department of Land Resource Science, University of Guelph, helped immensely with correspondence during the preparation of the Symposium and the editing of the Proceedings. Mrs. Karen Clarke-Whistler assisted during the external review process of the papers, and Mrs. C. Lowden checking galley-proofs.

Numerous loose-ends were tied together during final preparation of these volumes by Dr. G. Lacroix and Mrs. Josette Côté of Université Laval, Québec.





Géologie et géomorphologie  
*Geology and geomorphology*



## QUATERNARY EVOLUTION OF THE HUDSON/JAMES BAY REGION

W.W. SHILTS

*Geological Survey of Canada  
601 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0E8*

### Résumé

Divers événements glaciaires ont joué un rôle majeur dans le façonnement et l'évolution du relief dans la région de la baie d'Hudson. Les dépôts de till indiquent au moins six avancées glaciaires importantes dans le sud-ouest de la baie d'Hudson et de la baie James. Il devient évident que la superficie de l'inlandsis laurentidien et de ses prédécesseurs, centrés sur la baie d'Hudson, a été fortement réduite ou même que les masses de glace sont disparues entre ces diverses pulsations glaciaires.

De la fin du 19<sup>e</sup> siècle (date des premiers relevés géologiques dans la région) jusqu'à nos jours, la configuration, la dynamique et l'odyssée de l'inlandsis laurentidien n'ont jamais fait l'unanimité. De nombreuses discussions ont porté sur l'existence d'un ou de plusieurs centres d'alimentation et de dispersion de la glace et sur les implications paléoclimatiques qui en découlent.

Récemment, suite à des travaux de cartographie et d'échantillonnage rendus nécessaires pour la mise en valeur des régions adjacentes à la baie d'Hudson, il est devenu clair que l'échelle et les réseaux de dispersion glaciaire indiquaient des centres d'écoulement situés dans les régions du Keewatin et du Nouveau-Québec. De plus, il semble peu probable que la glace se soit écoulée à partir d'un centre situé dans le bassin actuel de la baie d'Hudson.

La mise au point de techniques de datation par les acides aminés a permis d'estimer l'âge relatif et absolu des mollusques trouvés dans les dépôts marins interglaciaires ainsi que des erratiques dans les formations graveleuses fluviales et le till susjacent dans le bassin des baies James et d'Hudson et les basses-terres adjacentes. Les datations relatives et absolues obtenues par les acides aminés, combinées à des indices stratigraphiques, montrent clairement l'ouverture de la baie d'Hudson au moins une fois et probablement deux fois au cours du Wisconsinien.

Ces conclusions ont des implications importantes pour l'interprétation de l'oxygène isotopique enregistré au fond de la mer, pour la conception de modèles de la dynamique des inlandsis, pour le calcul de la viscosité du manteau déduite des données isostatiques, pour évaluer la répartition des éléments chimiques et minéralogiques des sédiments glaciaires et des dépôts qui en sont dérivés dans et autour du bassin de la baie d'Hudson, et pour la reconstitution des conditions paléoclimatiques qui ont existé durant chaque stade glaciaire.

### Abstract

Repeated glacial events have had a profound effect on the evolution of the landscape and sea bottom of the Hudson Bay region. As many as six major glacial advances are represented by glacial tills in the southwest Hudson and James Bay lowlands, and evidence is mounting that the Laurentide ice sheet and its predecessors, for which Hudson Bay was the geographical centre, were greatly reduced in size or disappeared between several of these glacial pulses.

From the late nineteenth century, when the first geological explorations were carried out around Hudson Bay, till the present, the configuration, dynamics, and history of the last Laurentide ice sheet have been disputed. Many of the arguments have concerned whether the ice sheet had one or several centres of accumulation and outflow and what the paleoclimatic implications of its configuration and history are.

Recently, as a result of mapping and sampling associated with the economic development of regions adjacent to Hudson Bay, it has become evident that the scale and patterns of glacial dispersal indicate that flow from glacial centres in the

District of Keewatin and in Labrador-Quebec was sustained for significant periods of time. Furthermore, it is unlikely that ice ever flowed from a centre located anywhere within the present basin of Hudson Bay.

With the development of amino acid dating techniques, it has been possible to estimate both relative and absolute ages of the marine molluscs that are found in interglacial marine beds and as erratics in overlying fluvial gravel and till throughout the James Bay/Hudson Bay and lowlands. Relative and absolute amino acid dates, combined with stratigraphic evidence, indicate clearly that Hudson Bay was open at least once, and probably twice during the Wisconsin stage.

These conclusions have important implications for interpretation of the deep-sea oxygen isotope record, for modelling the dynamics of large ice sheets, for calculations of mantle viscosities based on isostatic data, for evaluating the distribution patterns of chemical and mineralogical components of glacial and derived sediments within and peripheral to Hudson Bay, and for reconstructions of paleoclimatic conditions that initiated and persisted through each glacial stage.

### Introduction

Joseph Burr Tyrrell published two classic papers on the Quaternary evolution of Hudson Bay (Tyrrell, 1898, 1913) in which he outlined his concept of the nature of the core of the great North American ice sheet. Although his model was seriously questioned and discarded by geologists of the 1940's, it is the present author's opinion that Tyrrell's original ideas have not been significantly improved upon. It has become increasingly clear as field data have accumulated from around Hudson Bay over the past two decades that at least two major ice sheets, called Keewatin and Labradorian ice sheets by Tyrrell and some of his colleagues, did, in fact, exist as separate entities, at least through the Wisconsin glaciation. Very recent evidence also indicates that the ice sheets expanded and contracted to the extent that marine water flooded into Hudson Bay one or more times during the last (Wisconsin) glacial stage, a concept at least implied by Tyrrell.

Over the past few years much of what has been written about the Laurentide ice sheet has been based on mathematical modelling of ice sheet dynamics and on speculations derived from the sparse geological data collected in the Hudson Bay region before 1970. Geological research in support of northern development in the 1960's and 1970's has provided a wealth of new data (Fig. 1). As we have begun to digest this information, a new and somewhat unexpected picture of the Quaternary history of Hudson Bay has emerged. However, in spite of the exponential increase in the amount of information bearing on the Quaternary history of Hudson Bay, we have barely scratched the surface of this vast, remote region. Words written by Tyrrell are as appropriate now as they were

85 years ago (Tyrrell, 1898, p. 149-150): «The causes of the great cold of the glacial epoch are yet enshrouded in mystery, and the most that has been suggested is that if such and such things had been so, if the land had been higher here or lower there, ice would have accumulated in southern latitudes, but as yet there is little or no proof that such conditions did exist. At present it would appear to be much more satisfactory to spend our energies in endeavoring to follow up the traces left by the glacier and lakes of the glacial epoch, and to first determine the conditions that existed at one time, or the order in which certain conditions existed, rather than to devise elaborate theories to account for conditions that may never have occurred. When the country has been thoroughly examined, and the glacial deposits, striae, etc., are well known, the proximate causes of these phenomena will in all probability be easily determined.

The information with regard to the conditions of glaciation unearthed is undoubtedly but a very small portion of what will be known when our country is more fully explored, for compared to the vastness of the field and the probable extent of the harvest of knowledge, the harvesters are indeed very few.»

### Historical development of Laurentide ice sheet model

Tyrrell first summarized his thoughts on the late Quaternary history of Hudson Bay in 1898. He suggested that the expansion and recession of a Cordilleran ice sheet were followed by three major periods of expansion of a Keewatin ice sheet, followed finally by the expansion of a Labradorian ice sheet across the southern part of Hudson Bay, as



Figure 1. Index map showing extent of recent surficial geological mapping by the Geological Survey of Canada in the Hudson Bay region. Nearly all of this mapping has been carried out since 1970.

far west as Lake Winnipeg (Fig. 2). Later, based on his study of the abundant Pleistocene stratigraphic exposures along rivers southwest of Hudson Bay, Tyrrell (1913) suggested that a centre of ice flow, which he called the Patrician centre, existed at one time on high land between Hudson Bay and Lake Superior. He thought that it expanded northward as far as Nelson River at some time between the last expansion of the Keewatin ice sheet and the first and only expansion of the Labradorian ice sheet. It is unclear how Tyrrell arrived at the sequence of glacial pulses that he described and is equally unclear why he felt that only one ice centre at a time expanded to significant dimensions, with the exception of a brief period of contact between the last Keewatin ice sheet and the Labradorian,

over Hudson Bay (Fig. 2). It must be remembered, however, that the theory of continental glaciation had just come into vogue when Tyrrell was writing and that all Quaternarists in North America were strongly influenced by the evidence of complex lobations and multiple glaciations suggested by the detailed stratigraphic studies of Pleistocene sections being carried out in Illinois and adjacent regions at that time. Then, as now, powerful, classic models of local Quaternary events or processes tended to dominate interpretations of similar events in distant areas. In the case of the development of thought on the Quaternary glacial history of North America, ideas derived from work around the outer fringes of the central continental ice sheet have often served as the principal input into models of the confi-

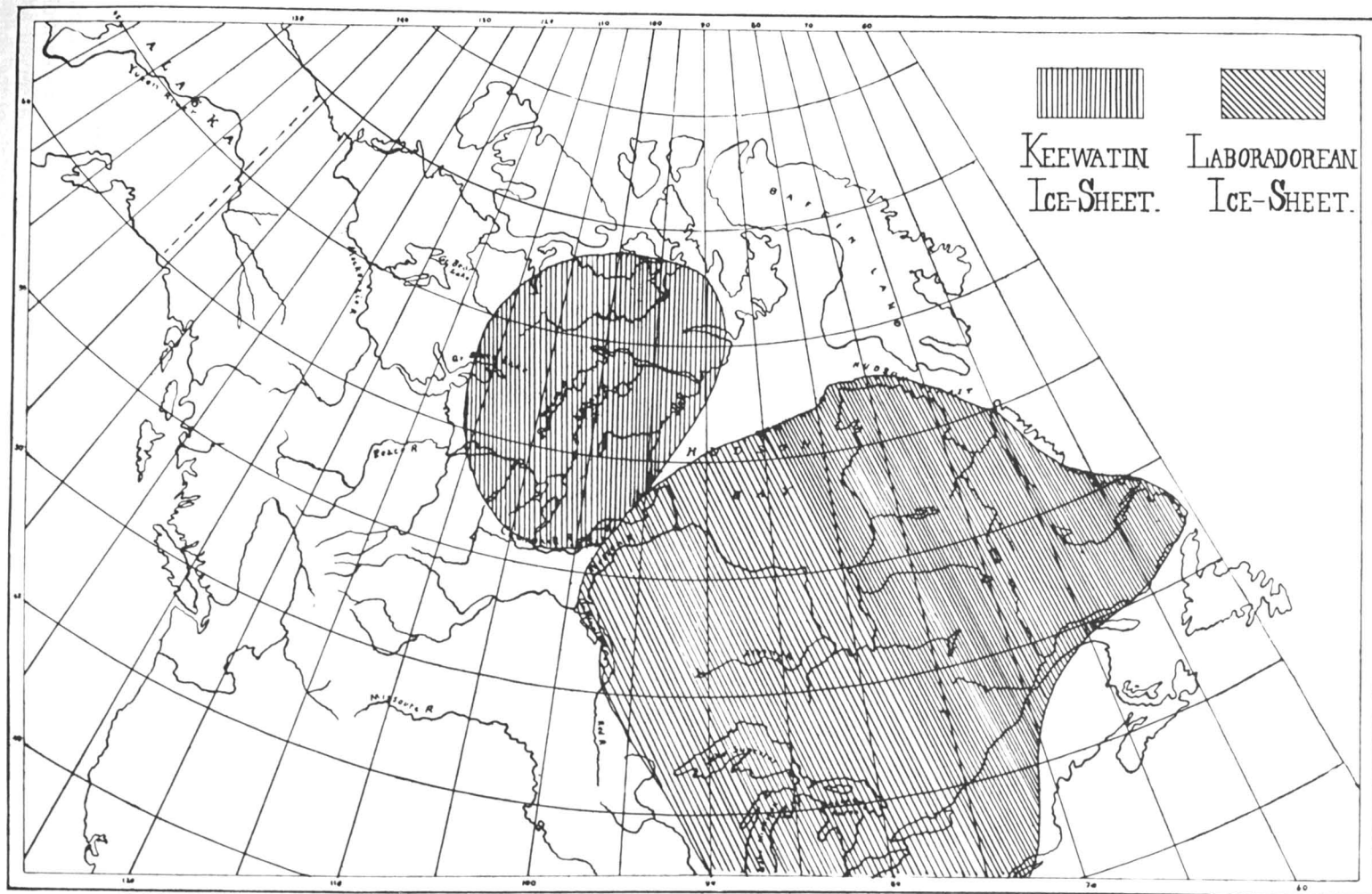


Figure 2. Keewatin and Labradorian ice sheets in contact as proposed by Tyrrell (after Tyrrell, 1898).

guration of the geographical centre of the ice sheet in the vicinity of Hudson Bay, both in Tyrrell's and our time.

The idea of multiple ice sheets or centres of glacier outflow around Hudson Bay (Fig. 3) generally held sway until the early 1940's when Flint (1943) published a major discussion of the North American ice sheets. Flint's treatment of the subject utilized the sparse geological information Tyrrell and his contemporaries had collected around Hudson Bay and drew on paleoclimatic theories of the day to argue against Tyrrell's idea of multiple ice flow centres. Flint proposed that the last (Wisconsin) central North American ice sheet, which is now and had by then come to be called the Laurentide ice sheet, grew originally in the highlands of north-eastern North America and that its centre of outflow migrated westward to be centred, eventually, over Hudson Bay. This latter configuration (Fig. 4) was thought to have been maintained throughout most of the Wisconsin stage until rising sea waters split the stable central core in two near the end of that stage, creating isolated, ephemeral ice sheets flowing from centres in Keewatin and in Labrador-Québec. Flint attributed the overwhelming geomorphic evidence of flow from these centres, flow which would have had to efface virtually all evidence of earlier flow from a central Hudson Bay ice dome, to this late glacial phase. He thus dismissed the conclusions of Tyrrell and earlier geologists that the Laurentide ice sheet comprised independent ice caps throughout its history. To support the paleoclimatological arguments against independent ice masses around the bay, Flint cited the apparent pattern of post-glacial uplift, which, because few systematic measurements of marine shoreline altitudes had been made at that time, suggested that the greatest uplift occurred within the present extent of the bay, indicating that the thickest part of the ice sheet was located there. Subsequent to Flint's paper, gravity anomalies under the bay and evidence of continuing uplift from historic sites and tidal records have been seen to be in basic agreement with the apparent pattern of isostatic rebound (Walcott, 1972).

Although many other scientists have made observations of Quaternary features around Hudson Bay, or synthesized others' observations, both between Tyrrell's and Flint's time and between publication of Flint's paper and the present, Tyrrell's papers and Flint's treatise can be regarded as repre-

senting the first and second major phases of discussion of the Quaternary history of Hudson Bay and of the nature of continental glaciation in North America. Both men had a profound influence on scientists of their and of succeeding generations.

### Modern studies of the Quaternary evolution of Hudson Bay

The third phase of discussion of the nature of the Laurentide ice sheet and of the Quaternary history of its geographic centre, Hudson Bay, is currently in full swing, so much so that it is not presently clear where or when it is going to end. The third phase started in the late 1940's and early 1950's when technological advances in aircraft allowed full aerial photo coverage of the North and increased access to previously almost inaccessible areas. The advent of air photos allowed maps to be made of the spatial distribution of geomorphic features around the bay, and improvements in aircraft, particularly the application of helicopter technology to geological studies in the tundra in 1952 (Geological Survey of Canada, 1959), permitted almost unlimited access to the region. The first observations made with these new tools appeared to support Flint's ideas (Taylor, 1956; Bird, 1953) and his general thesis continued its firm entrenchment in North American literature. Observations made during early Geological Survey helicopter operations confirmed the existence of ice divides east and west of Hudson Bay, however, and settled an argument that had developed when air photographs had first become available (Taylor, 1956, Bird, 1953); did the ice that formed the prominent drumlin fields and fluted areas of southern Keewatin flow from Hudson Bay or toward Hudson Bay? Extensive ground observations by Lee (1959a), and by Lee *et al.* (1957) indicated unequivocally that, east of the Keewatin ice divide, ice flowed eastward or southeastward toward Hudson Bay, and west of the divide flow was in approximately the opposite direction. Similar opposing ice flow directions were mapped by Hughes (1964) and Henderson (1959) around the ice divide of Québec-Labrador, east of the bay. None of these authors, however, disputed Flint's central hypothesis that a stable ice sheet core or ice dome was maintained over Hudson Bay throughout most of the last glaciation. In fact, Lee cited evidence of eastward erratic dispersal on the east coast of Hudson Bay,



Figure 3. Multiple centres of glacier outflow around Hudson Bay, as visualized in 1935 (after Martin, 1935).





Figure 4. Modern concept of the single-dome configuration that Flint proposed for the Laurentide ice sheet at the Wisconsin maximum (after Hughes *et al.*, 1977).

which he believed supported Flint's hypothesis (Lee, 1959b).

In the late 1960's, McDonald (1969) and Skinner (1973) carried out detailed sampling and re-examination of the extensive exposures of Pleistocene deposits along the major rivers draining into the south and west sides of James and Hudson Bays. Their studies revealed that several glacial events occurred both before and after deposition of the Missinaibi beds, a complex deposit of peat, lacustrine, and marine sediments that had been identified tentatively as of interglacial age since its original

discovery by R. Bell (1877).<sup>1</sup> Terasmae & Hughes (1960) had suggested that pollen assemblages in these beds indicated that they were more likely of interstadial rank, but Skinner (1973) demonstrated that the cold climate indicators were in proglacial lake beds deposited as the Wisconsin glaciers first invaded the western Hudson Bay

<sup>1</sup> The marine beds were formally named the Bell Sea deposits by Skinner (1973, p. 12), but after J.M. Bell who first recognized the marine member (Bell, 1904).

lowlands from the east, blocking eastward and northward drainage. McDonald (1969) described several new sites throughout the lowlands at which he identified organic deposits, which he considered to be correlative with the Missinaibi beds. Both McDonald and Skinner recognized that at least two till sheets lie on top of the Missinaibi interglacial beds, indicating either that ice flow directions shifted significantly during the Wisconsin (possibly reflecting outflow from different centres) or that the Laurentide ice sheet shrank into the Hudson Bay basin during the Wisconsin stage. The presence in many sections of glacio-lacustrine sediments between the post-Missinaibi till sheets suggested that the latter may have been the case, an interpretation later presented by McDonald (McDonald, 1971, p. 343).

In the late 1960's and early 1970's, Andrews (1969), Andrews & Falconer (1969), Bird (1970), Craig (1969), and Walcott (1972) summarized data pertaining to the height and age of marine features, particularly the limit of marine flooding, at various places around Hudson Bay. Lee (1960) had earlier named the postglacial sea that flooded the glacially isostatically depressed land around Hudson Bay the Tyrrell Sea. These workers (and others) had established by 1970 that the Tyrrell Sea had penetrated to the James Bay region by roughly 7800 years ago, about the same time that it first penetrated the northern part of Hudson Bay. It flooded areas near the Keewatin ice divide about 6600 years ago, suggesting that glacier ice had largely disappeared from Keewatin by that time. The increasing numbers of measurements of marine limit were beginning to show that it varied by as much as 150 metres around Hudson Bay, the highest strandlines being recorded in southeastern Hudson and James Bays and the lowest on Southampton Island and near Baker Lake, the latter near the location of the last ice masses to melt in Keewatin. Based on interpretations of ages of marine inundation, many workers concluded that the entry of sea water into Hudson Bay was very rapid, penetrating the entire centre of the ice sheet from Hudson Strait to James Bay in no more than about 200 years. Furthermore, although the locus of greatest uplift still seemed to be in the southeast, the picture of concentric isobases about the bay was marred by unexpectedly low or variable marine limits on Southampton Island (Bird, 1970), on the Ottawa Islands (Andrews & Falconer,

1969), and around Baker Lake (McDonald & Skinner, 1969).

In the past 10 years, a large amount of fairly detailed geological data has become available for the surficial deposits of the region surrounding Hudson Bay, particularly from the vicinity of Richmond Gulf on the southeast, clockwise to Chesterfield Inlet on the northwest coast. With the survey of Coats and Mansel islands by the author in 1979, reconnaissance of the surficial deposits of most of the major islands in the bay was completed. Detailed (1:250,000 to 1:50,000 scale) mapping of surficial deposits (Fig. 1) has been carried out in much of the region, and details of the relationship of modern sediments and processes to the glacial deposits are reasonably well known. From this mapping has come more detailed information on distribution of the offlap sediment facies of the Tyrrell Sea, the nature of patterned ground in the perennially frozen regions, and the distribution and orientation of various types of glacier flow features.

As a result of the acquisition of much more detailed surficial geological information in the 1970's, some of the earlier conclusions about rates and patterns of isostatic recovery and patterns of marine inundation have been refined. Skinner (1973, p. 40) was the first to point out an ubiquitous zone of oxidized "clay pebble gravel" separating the fresh-water lacustrine deposits in the James Bay region from overlying marine deposits of the Tyrrell Sea. This disrupted zone was thought to represent the abrupt incursion of marine water into the James Bay area, accompanied by catastrophic northward drainage of the proglacial lakes (Barlow-Ojibway) that had been draining southward because of the ice barrier in Hudson Bay. Further work by Hardy (1976) and by Vincent & Hardy (1979) confirmed rapid drainage of the proglacial lakes and established the Sakami moraine, east of James Bay, as the seaward limit of the grounded ice sheet at the time of marine inundation. All three authors concluded that the marine inundation was a very rapid event, taking place in some tens of years or less.

Careful examination of isobase trends derived from measurement of raised lacustrine and marine strandlines in areas adjacent to Hudson Bay led some authors to postulate that uplift was related to several centres of loading rather than to a single centre over Hudson Bay (Andrews & Barnett, 1972). Furthermore, configuration of isobases determi-

ned from raised lacustrine shorelines south and east of Hudson/James Bays indicates isostatic response to a major load in Nouveau-Québec (Walcott, 1972; Vincent & Hardy, 1979).

Since the early 1970's speculations about the paleoclimatic conditions that prevailed during inception, maximum, and disintegration of the Wisconsin Laurentide ice sheet have been published in abundance (Andrews, 1973; Ives *et al.*, 1975; Paterson, 1972). As with the discussions of isostatic adjustment, the paleoclimatic models all depend on a correct interpretation of the configuration and history of the ice sheet, as noted by Paterson (1972, p. 899-901), Andrews (1973, p. 186), and Ives *et al.* (1975, p. 119, footnote).

#### **Application of recently acquired data to Quaternary history**

Within the past three to four years, important changes in our perception of the Quaternary history of the Hudson Bay region have taken place as a result of the application of new geological techniques and the increased knowledge of the geology of terrain adjacent to and beneath Hudson Bay. These changes have come about through analysis of abundant data derived from three principal lines of investigation: (1) detailed mapping of surficial geology of areas near Hudson Bay; (2) determination of lithologic, petrologic, and geochemical composition of glacial drift in and adjacent to Hudson Bay; and (3) calculation, using amino acid techniques, of relative and absolute ages of marine shell fragments found in interglacial and postglacial marine deposits, as erratics in three or more till sheets, and as clasts in interglacial or interstadial fluvial gravels.

These new petrologic and geochronologic data have appeared in the literature at about the same time as workers outside of Canada have introduced many new ideas about the dynamics and effects of the Laurentide ice sheet (White, 1972; Ives *et al.*, 1975; Hughes *et al.*, 1977; Sugden, 1978; Laine, 1980; Denton & Hughes, 1981). Ice sheet modelling and speculations about large scale effects of glacial erosion have been accomplished largely by application of modern glaciological principles to Flint's model of the history and configuration of the ice sheet as it had evolved in the late 1960's.

As a result of the simultaneous publication of the results of modelling on one hand

and field and laboratory data on glacial sediments on the other, two models of the last glacial stage have evolved: 1) The model preferred by many of those concerned with ice sheet dynamics and by those who have seen no reason to doubt Flint's general concepts is that of an ice sheet with a more-or-less stable central core, centred on and with greatest thickness in a dome or ridge over Hudson Bay throughout all but the earliest and latest phases of the last (Wisconsin) glacial stage; 2) Those who have based their interpretations largely on fieldwork and recently acquired petrographic and geochronologic data interpret the Laurentide ice sheet as consisting of coalescing, multiple centres of outflow, two of the major examples of which were located in Keewatin and Québec-Labrador throughout the Wisconsin. They feel that the ice sheet was more dynamic than previously thought because it permitted the sea to enter Hudson Bay once or twice during the Wisconsin stage.

Being a representative of the second school of thought, the author will not discuss in detail the "stable central core" model but would refer the interested reader to discussions in Flint's textbooks (Flint, 1971) and to a recent discussion of ice sheet history and dynamics based on an extensive review of the literature and on glaciological modelling (Denton & Hughes, 1981).

The idea that the Laurentide ice sheet comprised multiple centres of outflow and that Hudson Bay was a zone of convergence of flow from these centres is based largely on observations of the effects of glacial processes on the geological systems that occur in and near the bay.

#### **Summary of geology of the Hudson Bay basin**

The geology and physiography of the Hudson Bay basin and environs are described elsewhere (Sanford & Grant, 1976; Sanford *et al.*, 1979; Wright, 1967; Dimroth *et al.*, 1970; Douglas, 1970; Pelletier, 1969). For the purposes of the following discussion of Quaternary events a brief summary of some aspects of the geology will be useful.

Hudson Bay has been a structural depression for a considerable period of time, as it has received sediments from shallow seas and terrestrial systems periodically since at least the early Paleozoic. The last major

episode of deposition before the Quaternary apparently occurred during the Cretaceous when terrestrial sediments were deposited in the area south of James Bay in an environment not too different from that of the wetlands that cover the Hudson Bay lowlands today. The original areal extent of the Cretaceous sediments is unknown, and no Tertiary sediments, such as are found in the Arctic Archipelago, have been identified around the bay.

Pelletier (1969) has identified, on the basis of bathymetric information, an integrated drainage system, apparently formed by deep fluvial erosion of the Paleozoic rocks which presently form the floor of Hudson Bay. Logically, this system would have been developed at least partially during the Tertiary, and subsequent glacial erosion has not greatly modified it.

The bedrock geology of the Hudson Bay area is dominated by two major geologic units: (1) the metamorphosed "crystalline" Precambrian terrain that surrounds the bay, and (2) the thick sequences of Paleozoic carbonate rocks which occupy a permanent depression in the Precambrian terrain beneath and adjacent to the bay itself. The Precambrian lithologies comprise mainly Archean-age crystalline granitoid and gneissic rocks. These complexly deformed and highly metamorphosed rocks are cut by east-west or northeast-southwest trending belts of less metamorphosed sedimentary and volcanogenic rocks, the metal-rich Archean greenstone belts. The overlying Paleozoic formations are characteristically nearly flat lying, light grey to white or red limestone and dolomite with minor clastic units. In the Moose River basin, south of James Bay, the Paleozoic rocks are overlain in turn by poorly consolidated Cretaceous terrigenous sediments with beds of lignite and fire clay.

Two other distinctive and important types of Precambrian terranes are found within or adjacent to Hudson Bay. Proterozoic sedimentary and volcanic rocks and associated intrusive rocks occur in a sinuous belt referred to generally as the circum-Ungava geosyncline (Dimroth *et al.*, 1970). Rocks of this belt occur at Churchill, in the Sutton Ridges southwest of Hudson Bay, and in a more or less continuous belt along the east side of the bay from Richmond Gulf through Ottawa Islands, eastward from Cape Smith to Wakeham Bay, and thence southward to form the Labrador Trough. Distinctive lithologies

within the belt include various types of volcanic rocks, iron formation, and sedimentary rocks including dark grey to black graywackes and distinctive carbonate facies.

West of Hudson Bay, relatively undeformed, unmetamorphosed sediments of the Dubawnt group (Donaldson, 1965; Lecheminant *et al.*, 1979, 1980, 1981) underlie a large area west and southwest of Baker Lake. The Dubawnt group is composed of a sequence of terrestrial sedimentary and volcanogenic rocks which characteristically includes a number of distinctive, red-coloured facies.

Glacial erratics from each of the principal bedrock terrains around Hudson Bay are easily distinguishable even among very small (2-6 mm) clasts, from which much of the petrographic information has been derived. For convenience, each type of erratic has been treated quantitatively as belonging to one of four different groups (Shilts *et al.*, 1979): (1) Crystalline erratics — from Archean terrain; (2) Carbonate erratics — from Paleozoic terrain; (3) Dark erratics — from the circum-Ungava geosyncline; and (4) Red erratics — from the Dubawnt group.

### Glacial dispersal patterns

Over the past decade, many thousands of samples of till and sediments genetically related to till have been collected in the vicinity of Hudson Bay. The discussion of dispersal that follows is based on the petrologic composition of over 1200 till or till-like samples collected in the course of carrying out mapping of surficial geology, oceanographical studies of Hudson Bay, studies of techniques of geochemical prospecting using drift, and geotechnical studies in support of a proposed Arctic gas pipeline. It is also based on spot observations of till lithologies at hundreds of sites and on geochemical data (Shilts, 1977, 1980a).

The patterns of dispersal of erratic clasts derived from the major geologic terranes described above, when combined with geomorphic evidence of ice flow direction, place many constraints on interpretations of patterns of ice flow for the last and to some extent earlier glaciations. Around Hudson Bay, crystalline erratics (Fig. 5) are found in virtually all glacial sediments and in post-glacial sediments derived from them. Crystalline erratics reach their lowest concentrations

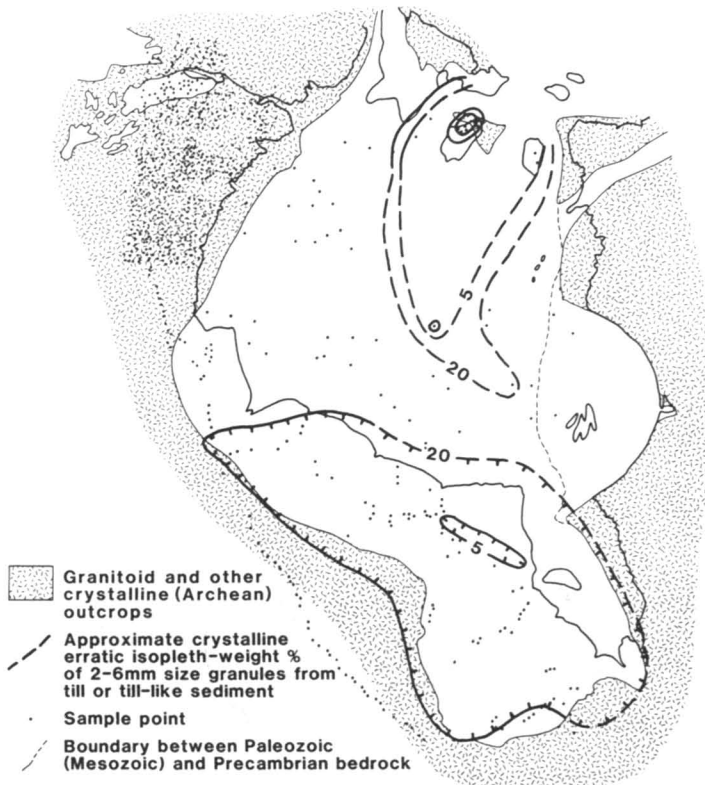


Figure 5. Isopleth map of crystalline erratics around Hudson Bay. Samples beneath the bay are of stony, till-like sediment.

in the north-central part of the bay and in the southwestern Hudson Bay lowlands, south of Nelson-Hayes rivers. The low concentrations in these two areas are functions of dilution of the glacial load by underlying carbonate bedrock as a result of local erosion and of attenuation of concentrations as crystalline erratics were deposited along the lines of glacial flow from their source areas. The abrupt decrease in concentration of crystalline erratics south of Hayes-Nelson rivers is interpreted to mark a major contact zone between an ice mass rich in crystalline erratics and emanating from a centre(s) in Keewatin and an ice mass emanating from Québec-Labrador but with its load of crystalline erratics considerably diminished by dilution with carbonate debris incorporated during flow across the wide Paleozoic basin. Although this interpretation may be valid for one or more of the last glacial events to affect the region, the zone of contact can be shown to have shifted across the lowlands during earlier glacial events (McDonald, 1969, p. 91).

The limits of the dispersal pattern of Paleozoic carbonate erratics (Fig. 6) probably impose the most powerful constraints on interpretation of Quaternary ice flow configuration around Hudson Bay. If glacier ice had been flowing from a location within Hudson Bay at any time, Paleozoic erratics and/or calcareous till should be found within the crystalline terrain all around the bay. In fact, an immense train of carbonate debris has been spread across crystalline terrain for hundreds of kilometres south and southwest of the Hudson Bay lowlands (Zoltai, 1965; Boissonneau, 1966; Grant, 1969; Coker & Shilts, 1979) during each of several glacial events. However, no calcareous debris or Paleozoic erratics have been found in the surface till or in two older tills in the region west of Hudson Bay from Chesterfield Inlet southward approximately to the Seal River in Manitoba. Likewise, Paleozoic carbonate has not been found in any particle size in the till of the east coast of Hudson Bay, except in the clayey Cochrane till on the southeast coast of James Bay (Dionne, 1974; Hardy,

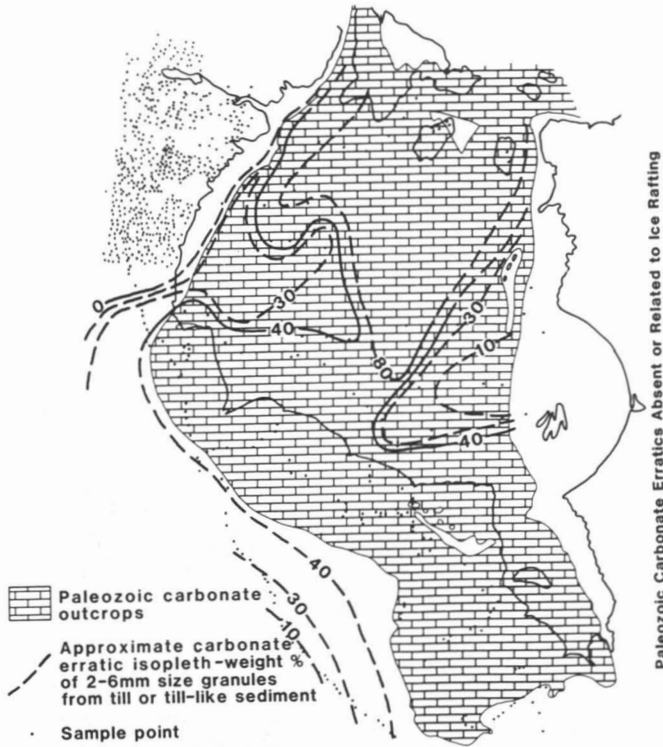


Figure 6. Isopleth maps of Paleozoic erratics. Note the configuration of the 0% isopleth along the northwest side of Hudson Bay.

1982). This limestone-bearing till was dispersed a short distance southeastward onto the crystalline terrain east of James Bay during the Cochrane ice surges near the end of the Wisconsin (Hughes, 1965; Hardy, 1977). Although Paleozoic and Proterozoic erratics have been found east of Hudson Bay (Lee, 1959b), Dionne (1974) demonstrated convincingly that the erratics are found only in raised marine beaches a short distance inland and were emplaced by sea ice rafting.

Erratics from the distinctive Proterozoic sediments of the circum-Ungava geosyncline have been found as far west as the Manitoba-Saskatchewan border (V. Prest, pers. comm.). Although the details of westward dispersal of Proterozoic erratics are generally poorly known, their dispersal pattern is well defined within and southwest of Hudson Bay (Fig. 7). Dispersal patterns of dark erratics correspond generally to those for carbonate erratics, except for the northwestern part of the bay where they are rare or lacking. In that area there is some

difficulty distinguishing dark Proterozoic erratics from dark volcanic and sedimentary rocks derived from the Archean greenstone belts that extend southwestward from Rankin Inlet in Keewatin. In any case, total concentration of dark erratics, whatever their provenance, is less than 5% in till or till-like marine sediments from this part of Hudson Bay. The isopleth pattern of Proterozoic erratics in the southwestern part of Hudson Bay clearly reflects southwestward ice flow from the Québec mainland. As with carbonate erratics, Proterozoic erratics are not known to be displaced eastward from their outcrops, except in raised marine beaches. Older tills from stratigraphic sections throughout the lowlands commonly have concentrations of dark erratics similar to the uppermost till, suggesting the same provenance, but north of Hayes River preliminary heavy mineral studies indicate that the uppermost till has northwest as opposed to east provenance, regardless of content of dark erratics.

The dispersal pattern of red erratics from the sedimentary and volcanogenic rocks of

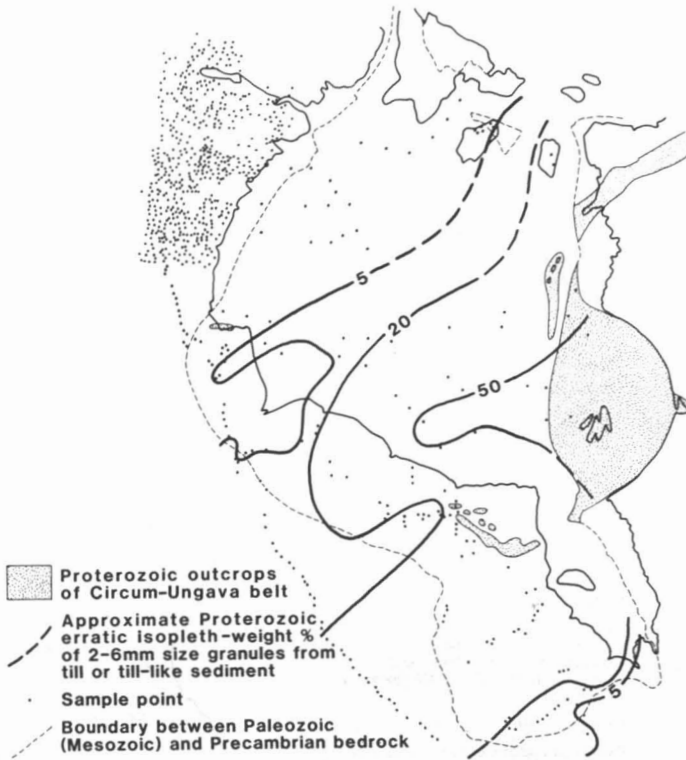


Figure 7. Isopleth map of dark erratics derived from the circum-Ungava belt. In the northwestern third of Hudson Bay, these erratics are easily confused with dark clasts from Archean greenstone belts.

the Dubawnt group near Baker Lake defines a major set of flow lines from the vicinity of the Keewatin ice divide to Hudson Strait and clearly defines the zone of contact between Keewatin and Québec-Labrador ice at the mouth of Hudson Bay (Fig. 8). It has been argued (Shilts *et al.*, 1979) that the length of this glacial train (> 600 km) and the clear-cut relationship of the configuration of its northern edge to flow from the Keewatin ice divide suggest that the ice divide or its precursors existed for a period of time significantly longer than the 2000-4000 years traditionally assigned to them (Andrews & Peltier, 1976). Furthermore, the fact that Dubawnt erratics are abundant on Coats Island, but are not present on Mansel Island 100 km to the east (Shilts, 1980b) confirms that ice flowing from a centre of dispersal in Keewatin was confined to the western portion of Hudson Bay and was in contact with Québec-Labrador ice in a zone between the two islands during the last and probably during earlier glaciations.

From the summary of dispersal patterns of non-crystalline erratics (Fig. 9), it is

apparent that at least during the last glaciation, Keewatin and Québec-Labrador ice co-existed in Hudson Bay and that the former was confined to the northwest third of the basin. Ice does not appear to have flowed from or via Hudson Bay onto land along the west coast north of Seal River (Manitoba). Except during the Cochrane events glacial ice did not flow eastward into Québec, unless later ice flow into the bay was very efficient at removing all traces of landward transport. Ice did, however, flow southward and southwestward across the southern half of Hudson Bay, carrying fine calcareous detritus and several types of distinctive erratics many hundreds of kilometres beyond their source outcrops. That such flow occurred during several glacial events is suggested by the similarity of petrologic compositions of as many as seven Wisconsin and pre-Wisconsin till sheets that have been identified in stratigraphic sections in the Hudson Bay lowlands (McDonald, 1969; Skinner, 1973; Shilts, 1980b).

Probable flow configuration in the vicinity of Hudson Bay during a full Wisconsin

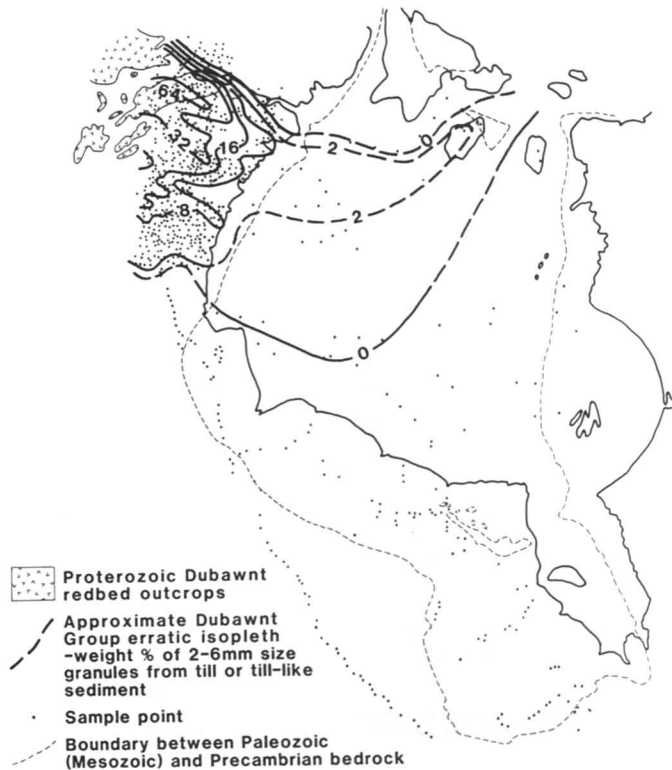


Figure 8. Isopleth map of red erratics from outcrops of the Dubawnt group. Presence of these erratics on Coats Island and their absence on Mansel Island define major contact between Québec-Labrador and Keewatin ice.

glaciation has been reconstructed using flow lines qualitatively derived from the dispersal patterns described above (Fig. 10). It can be seen from this diagram that the shapes of the areas of influence of various centres of outflow are controlled by the relative strength and size of the neighboring ice sheets on which they impinge, and not by topography or accelerated flow caused by calving in lake or marine water. Paterson (1972, p. 897) described ice sheets as "...ice fed from a single ice center (which may be a long ridge rather than a point). Each ice sheet may be confluent with adjacent ones, but where they meet the ice should be relatively thin". With this description in mind it is possible to visualize the nature of the ice sheets depicted rather schematically in Figure 10. I would expect them to be relatively thin along their contacts, and the contact zones would be the most unstable parts of the ice cover, particularly where in contact with water, as in Hudson Strait. This latter point is important to remember in the following discussion of glacial history.

Williams (1979) has modelled paleoclimatic conditions that may have existed at the onset of the last glaciation in northern Canada. He concludes that the paleoclimatic data, based mainly on calculations of the energy balance of snow cover, support the growth and maintenance of ice sheets and flow centres in Keewatin as easily as in Québec-Labrador, contrary to the conclusions reached by Flint (1943) and later workers. Thus, modern paleoclimatological modelling seems to support the interpretation that something like the ice flow configuration illustrated by Figure 10 persisted through the last glaciation.

#### Wisconsin glacial history

Terasmae & Hughes (1960), MacDonald (1969), Skinner (1973), Netteville (1974), Klassen (in press), and others have recognized that at least two till sheets overlie the interglacial Missinaibi beds in the Hudson Bay lowlands and that as many as three tills



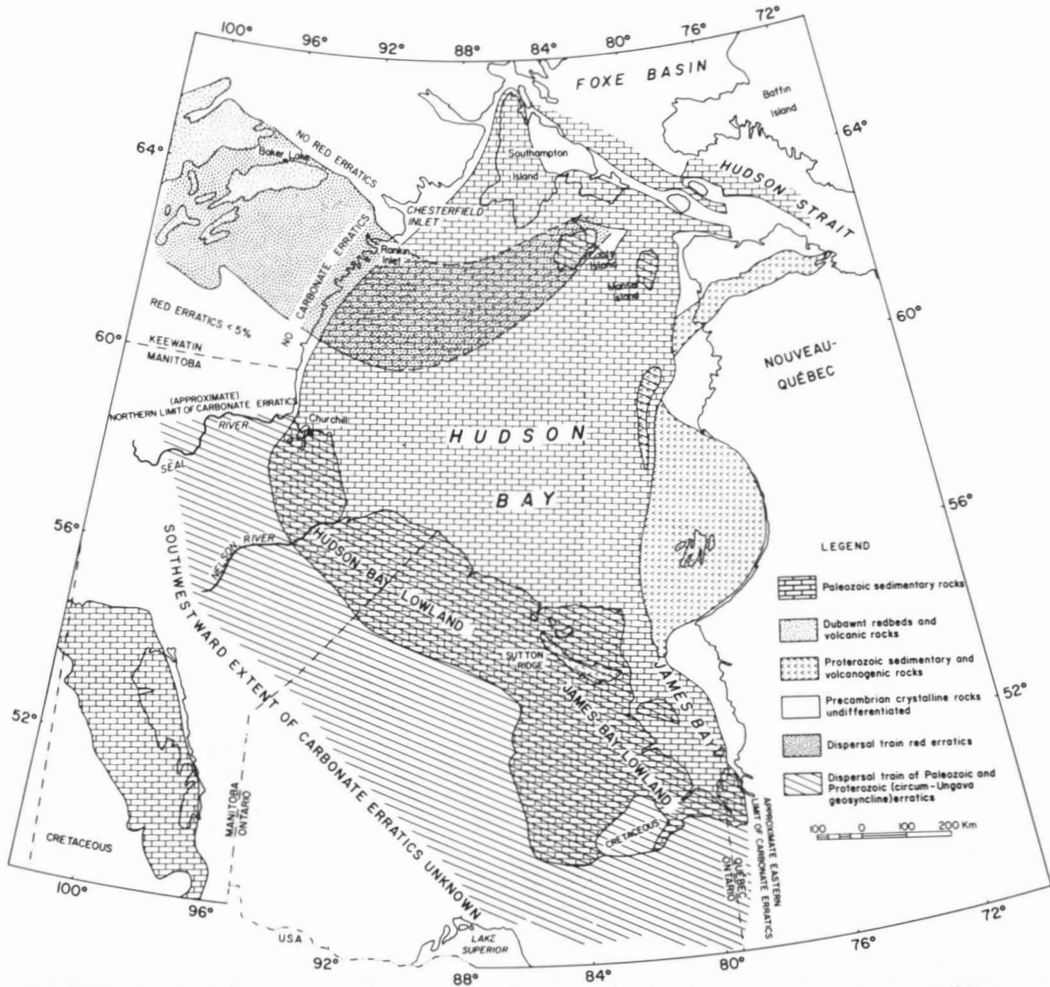


Figure 9. Summary of glacial dispersal data from around Hudson Bay (after Shilts, 1980b). See Figures 5-8 for bedrock lithologies.

underlie the Missinaibi. Since these till sheets are in many places separated from one another by water-laid lacustrine, marine, fluvial, or paludal sediments, it is obvious that the components of the Laurentide ice sheet and/or its predecessors must have been in a severely reduced state or have been destroyed altogether between the glacial pulses represented by tills located so close to the geographic centre of the ice sheet. Until very recently there has been no way to deduce the relative or absolute ages of these glacial and nonglacial sediments, other than to say that they predate about 7800 years B.P., roughly the age of the oldest Tyrrell Sea shells (Craig, 1969), and occurred on both sides of about  $130,000 \pm$  years B.P., an approximate age assignment for the Missinaibi beds, based on their  $> 72,500$

year  $^{14}\text{C}$  age (Stuiver *et al.*, 1978) and on their presumed deposition during the last interglacial (Sangamon).

As early as 1913, J.B. Tyrrell had noted that till sheets commonly contained Pleistocene-age marine shells as erratics in sections along the Severn and Hayes rivers near the Manitoba-Ontario border. McDonald and colleagues also noted marine shells in till and made a limited number of collections of them during the Geological Survey of Canada's "Operation Winisk" in 1967. Skinner (1973) recognized Pleistocene marine shells in pre- and post-Missinaibi tills of the Moose River basin and assumed, as did McDonald (1969), that the shells were eroded from interglacial marine beds. Deposits of interglacial Bell Sea beds were found in associa-

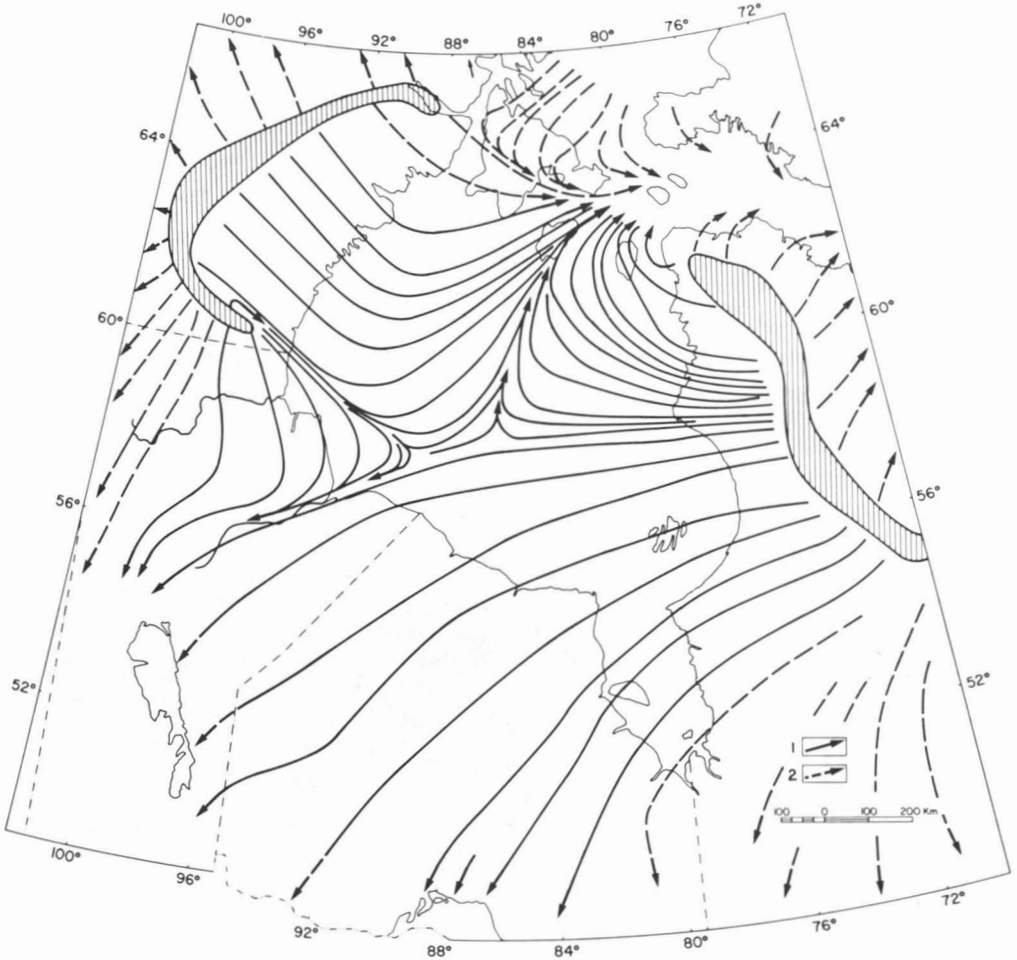


Figure 10. Possible flow lines during a full glaciation of the Hudson Bay region (after Shilts, 1980b).

tion with Missinaibi beds on Kwataboahegan River and elsewhere.

Within the past two years, shell fragments recovered from the coarse fractions of till samples from throughout the Hudson Bay lowlands and adjacent areas, have been subjected to amino acid analyses at the Amino Acid Geochronology Laboratory of the Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado (Shilts *et al.*, 1981; Andrews *et al.*, in press). The ratios of total amounts of the non-protein amino acid, D-alloisoleucine to its protein diastereoisomer, L-isoleucine (allo : iso ratio) were calculated for several shell fragments from each of 45 collections from till, marine sediments, and fluvial sediments from sections

located throughout the southwestern James and Hudson Bay lowlands (Fig. 11).

Relative ages of the shell fragments were determined by relating the allo : iso ratios to allo : iso ratios for shells collected from interglacial Bell Sea beds ( $\sim 0.23 \pm$ ) and from postglacial Tyrrell Sea beds ( $\sim 0.02 \pm$ ) (Table I). The ratios of the shells occurring as erratics in till clustered significantly about the 0.23 ratio, around 0.14, around 0.070 and around 0.020 (Fig. 12). The first and last of the groupings represent shells glacially eroded from Bell Sea deposits and Tyrrell Sea ratios, respectively (the Tyrrell Sea shells probably representing either mistaken sampling of shells slumped from overlying Tyrrell Sea deposits onto underlying till or shells in

TABLE I

Allo:iso amino acid ratio for marine shells from selected sites, Hudson Bay lowlands

Sample number Sample type	Combined allo:iso amino acid ratio	Marine shell species	Stratigraphic unit	Location
A. CDG 123-2 Till	0.054	<i>Hiatella arctica</i>	Upper till	92°47'W 56°16'N God's River, Manitoba
	0.055	" "		
	0.120	Unknown		
CDG 123-3 Till	0.19	<i>Hiatella arctica</i>	Lower till	
	0.25	" "		
	0.19	" "		
B. AT-6 Till	0.19	<i>Hiatella arctica</i>	Adam till	Adam Creek, Ontario,
	0.22	" "		
AT-5 Till	0.25	<i>Hiatella arctica</i>	Adam till	81°21'W 51°41'N
	0.22	" "		
	0.082	Unknown		
AT-1	0.20	<i>Hiatella arctica</i>	Adam till	
	0.18	Unknown		
	0.19	" "		
C. MR 141a Fluvial gravel	0.11	<i>Hiatella arctica</i>	Fawn River gravels	Fawn River 88°22'W 53°18'N
	0.17	" "		
MR 176G Fluvial gravel	0.11	<i>Hiatella arctica</i>	Fawn River gravels	Hayes River 93°15'W 55°56'N
	0.13	" "		
	0.12	" "		
	0.11	" "		
D. SJA 70-67 Marine silty sand	0.20	<i>Hiatella arctica</i>	Bell Sea sediments	Kwataboahagan River 82°07'W 51°08'N
	0.28	" "		
	0.22	" "		
	0.29	" "		
	0.22	" "		
MR 12-d Marine silty sand	0.19	<i>Hiatella arctica</i>	Bell Sea sediments	Kwataboahagan River 82°03'W 51°09'N
	0.22	" "		
	0.20	" "		

- A. Illustrates ratios of shell fragments in tills overlying and underlying gravel thought to be equivalent to Fawn River gravel on God's River. Upper till has ratios representing mid-Wisconsin ages; lower till has ratios representing Bell Sea or interglacial age.
- B. Illustrates *in situ* variations of shell fragments from 3 samples collected in vertical profile in Adam till at one site. Adam till is Skinner's (1973) lower till in James Bay lowlands and immediately overlies Missinaibi formation on Adam Creek. Ratios correlate with Bell Sea.
- C. Illustrates ratios for shell fragments in low-altitude fluvial gravels on Fawn and Hayes rivers — two widely separated sites. Ratios are mid-Wisconsin and sediment indicates free drainage toward Hudson Bay.
- D. Illustrates ratios for unabraded shell fragments from two nearby sites at type section of Bell Sea on Kwataboahagan River.

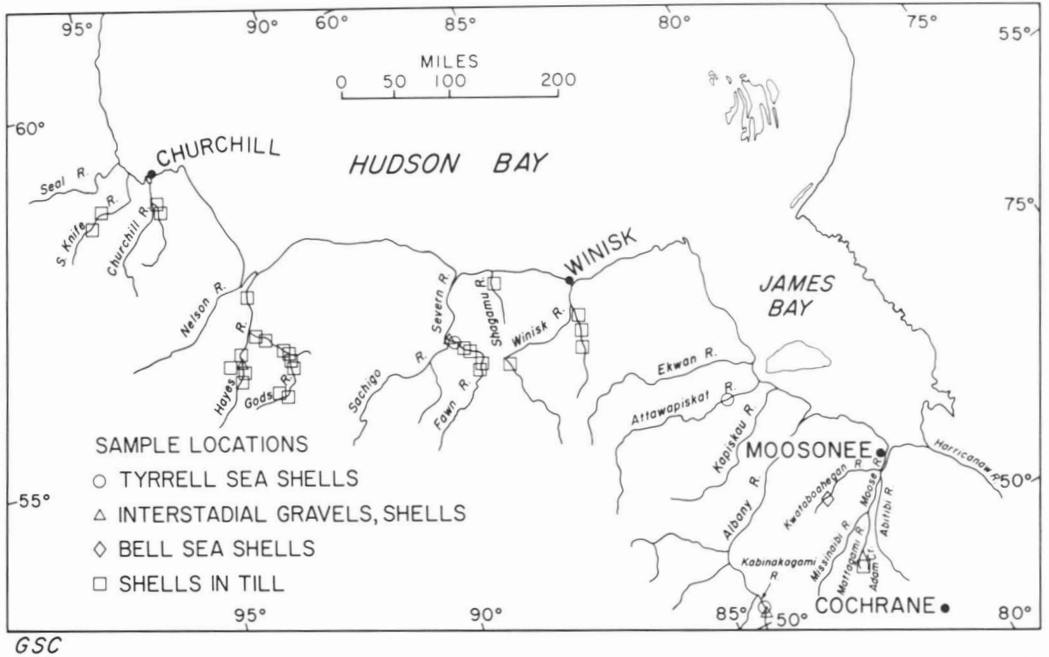


Figure 11. Locations and types of shell samples for which amino acid ratios have been determined in Hudson Bay lowlands and adjacent areas.

marine till deposited from the ice front that was bathed in Tyrrell Sea waters during retreat). The intermediate ratios are thought to represent shells eroded from marine sediments deposited when sea water penetrated to southern Hudson Bay during the Wisconsin glaciation, evacuating at least the central portion of the bay. At sites on both the Fawn and Hayes rivers, low altitude (< 60 m a.s.l.) fluvial gravels with eastward dipping crossbedding (called informally the Fawn River gravels) contain shell fragments with allo:iso ratios between 0.11 and 0.15, suggesting that they were deposited in nonglacial rivers that were eroding marine sediments deposited during an ice-free interval at some time between interglacial and postglacial time.

The present mean annual temperature of the southwest Hudson Bay region is not far from 0°C, and this temperature would not be expected to vary significantly whether the area was covered by ice or by fresh or marine water. Therefore, it is possible that the postdepositional temperature variations to which these shells were subjected were minimal. Because rate of amino acid racemization is temperature dependent, the possibility of minimal diagenetic temperature variation makes it reasonable to attempt to calculate absolute ages for the shell frag-

ments using kinetic equations developed for *Hiattella arctica* (Miller & Hare, 1980). Most of the identifiable fragments belong to this species because the robust construction of its shell makes it resistant to the rigors of glacial or fluvial transport.

Following the above assumptions, absolute ages of ~ 135,000 to 106,000, 76,000, 35,000, and 8,500 years B.P. were estimated for the four major clusters of allo:iso ratios (Andrews *et al.*, in press). The Bell Sea sediments, representing the early part of the last interglacial, yielded ages of ~ 135,000 years and fragments from many till samples, particularly tills known to overlie directly Missinaibi or equivalent beds, yielded similar ages. A secondary cluster of dates at 106,000 years is from till and is thought to represent shells eroded from Hudson Bay at the end of the interglacial. Ages of about 76,000 years were estimated for fragments of *Hiattella arctica* that were found in the Fawn River gravels on both the Hayes and Fawn rivers. Shells from tills overlying these gravels yielded similar ages as did several shells from till units of uncertain stratigraphic position throughout the lowland. The ratios in the 35,000-year range came mostly from till forming the uppermost unit in multiple till sections and in one case from shell fragments found lying on Precambrian outcrops

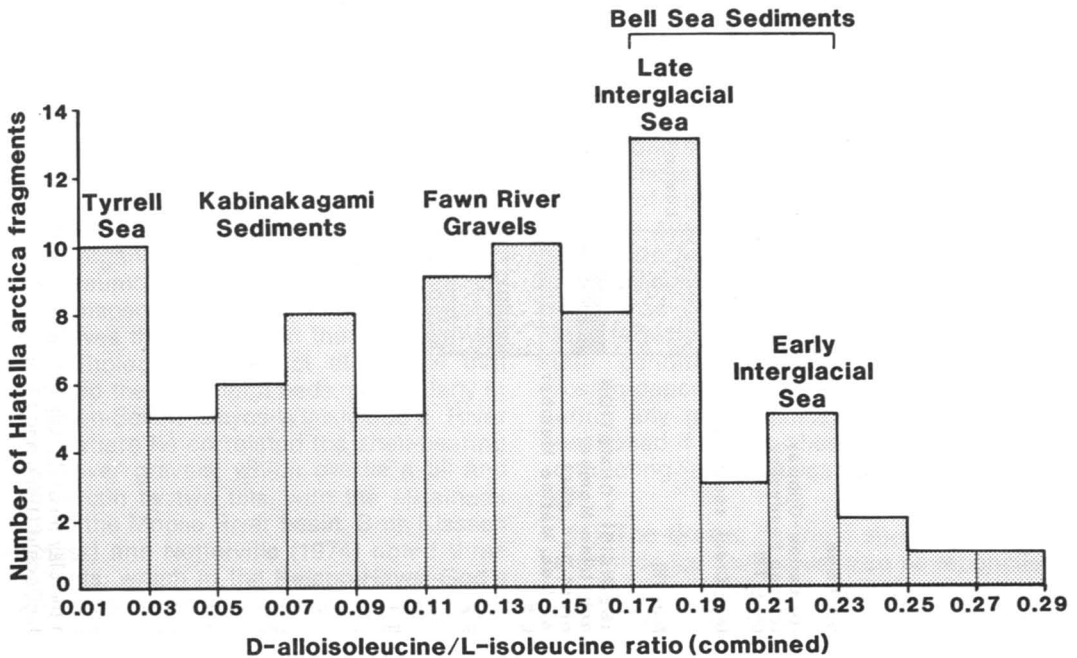


Figure 12. Histogram of total allo:iso ratios for fragments of *Hiatella arctica* collected from all sediment facies. About 60% of the 86 fragments represented were found as erratics in till.

some distance south of the James Bay lowlands (51°10' N, 92°45' W). Shell fragments found in laminated silt beneath more than 10 m of till and ice-contact gravel on Kabinakagami River also yielded ratios in the 35,000-year range. Tyrrell Sea shells, known to have radiocarbon ages of 7,000-7,900 years yielded amino acid ages of ~9,000 years. Table I gives allo:iso ratios for selected shell collections. From the table, it is possible to compare ratio variations between till sheets and within till sheets at one site and to compare shell ratios from waterlain sediments with till.

Although the ages calculated for groups of allo:iso ratios can only be regarded as rough estimates, it is tempting to accept them at face value, because they correspond so closely to known major ice-free intervals represented in the classic stratigraphic sections of the Great Lakes-St. Lawrence River valley region near the southern fringes of the Laurentide ice sheet. However accurate the age estimates might be, the important conclusion to be drawn from the amino acid data is that the occurrence of clusters of amino acid ratios in the range between interglacial and postglacial time requires Hudson Bay to have been at least partly evacuated

of ice at least once and possibly twice during the Wisconsin stage.

This conclusion, combined with the conclusions about the configuration of ice flow described above suggests that during the Wisconsin stage, (1) there was no stable, monolithic core of ice over Hudson Bay, (2) major centres of glacial outflow were located in Keewatin and in Québec-Labrador, and (3) the extent of ice over central North America varied drastically between glacial maxima and minima. By analogy, the glacial sediments predating the Missinaibi beds may have been deposited by a similarly dynamic ice sheet complex with comparable ice flow configurations.

A summary of probable stratigraphy of the Hudson Bay region, incorporating the data from amino acid dating, is presented in Figure 13. The presence of three till sheets above the Missinaibi beds is problematic at this time as no author has yet described three unequivocal Wisconsin-age tills in a single stratigraphic section. Also, with the possible exception of the Kabinakagami River sediment, no beds of certain marine origin have been observed in any section exposing sediments deposited

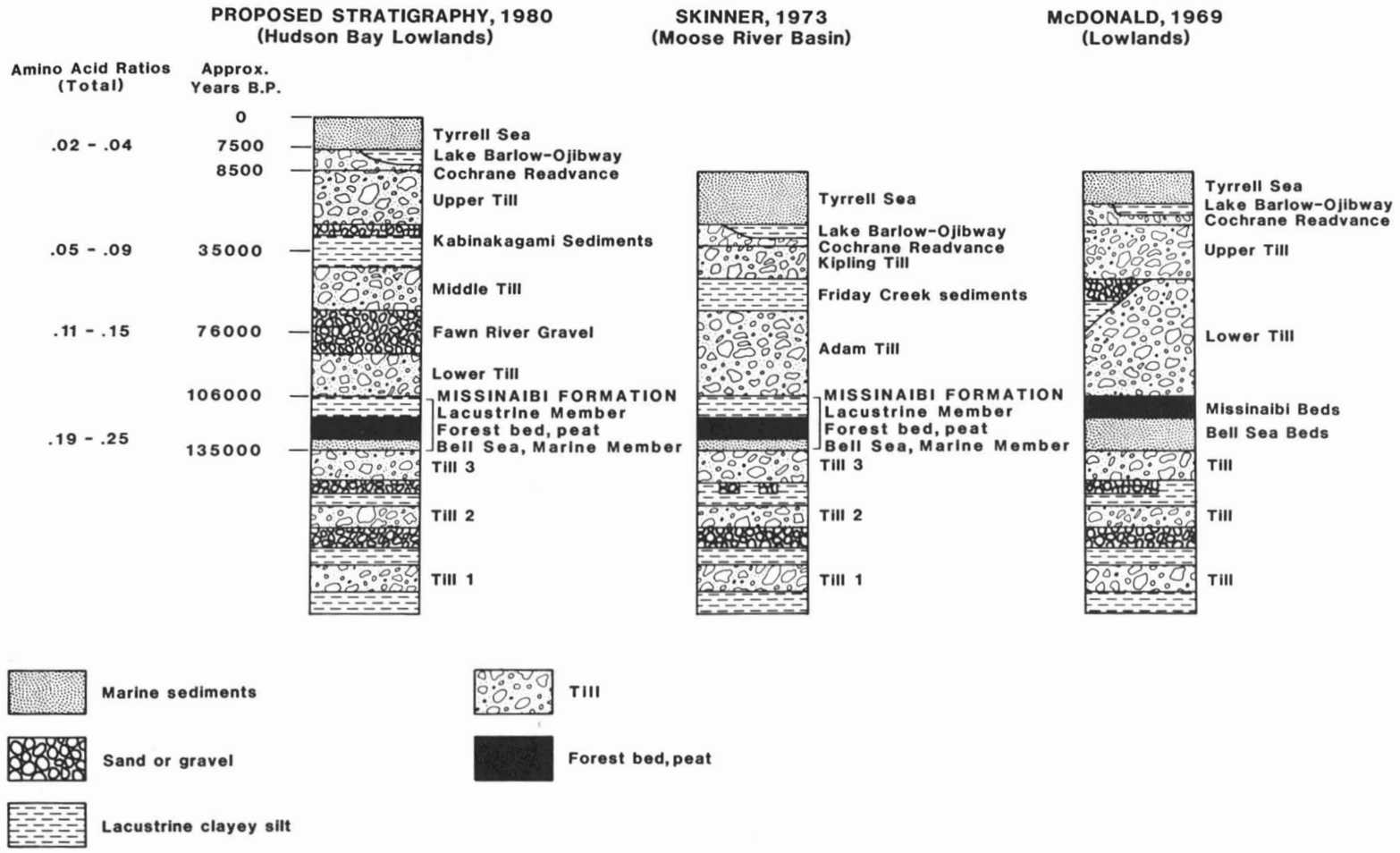


Figure 13. Proposed stratigraphy for the Hudson Bay basin. Note that in addition to the clay till of the late glacial Cochrane readvance, tills of three post-Missinaibi glaciations are represented, rather than two as suggested by McDonald (1969) and Skinner (1973).

between the Bell Sea and Tyrrell Sea sediments. The fact that such interstadial marine deposits have not yet been recognized in the lowlands is not surprising in light of the limited amount of work that has been done on the stratigraphy of the region. Interglacial Bell Sea sediments have been identified in only two or three localities, and before the advent of amino acid dating techniques all subtil organic deposits of the lowlands were assumed to correlate with the Missinaibi. Inspection of McDonald's original notes gives the impression that he observed three lithologically distinct till sheets that postdated the Missinaibi beds, particularly in the Fawn-Severn-Hayes-Winisk-God's River region where he correlated the shell-bearing Fawn River gravels, which overlie a till and are overlain by two tills, with the Missinaibi beds of the Moose River basin. Both Klassen (in press) and Netterville (1974) noted three till sheets, which in the Nelson-Hayes-God's River area overlie interglacial peat beds equivalent to the Missinaibi beds.

### Conclusion

An accurate appreciation of the Quaternary evolution of Hudson Bay is important for a number of reasons. For instance, if the Hudson Bay region was glaciated in the Wisconsin stage by glaciers that emanated from centres around, rather than in, the bay and by ice sheets that waxed and waned sufficiently to allow marine waters to penetrate the southern part of the bay, as suggested here, a number of geologic inferences and calculations will need to be reassessed:

(1) Paleoclimatic reconstructions must account for ice buildup and decay on land on both sides of Hudson Bay. The periodic large-scale reductions of ice sheet size during the Wisconsin, if firmly established, must be incorporated into any scheme seeking to explain either ice-age paleoclimate or future climatic trends.

(2) The configuration of the ice load and periodicity of successive applications of that load are vital components of the equations used to estimate mantle viscosity, which is often estimated on the basis of isostatic response models. It may make a great deal of difference to these models whether the greatest ice load was over Hudson Bay or at some distance inland and whether the ice load was applied once or periodically.

(3) The dynamics of large ice sheets, such as the Laurentide, are deduced partially from

the history and configuration of the ice sheet. For instance, speculation about the location of dynamically controlled zones of ice sheet erosion and deposition has been based on postulated conditions at the base of the ice sheet, conditions such as basal velocity and ice thickness that change radially away from centres of outflow. Calculating the variation of these conditions along a radius drawn from a single centre over Hudson Bay will result in conclusions substantially different from those drawn from similar calculations along radii from multiple centres. The steady-state conditions required for zones of erosion-deposition to be fixed in space during any given glaciation, must also be questioned if the ice-sheet is expanding and contracting as significantly as suggested here.

(4) The drastic periodic shrinkage of the Laurentide ice sheet must also be reconciled with the implications of ice volume deduced from interpretation of the oxygen isotope record from deep-sea cores (Shackleton & Opdyke, 1973) and with evidence suggesting high sea level stands during the Wisconsin stage (Milliman & Emery, 1968).

(5) From the point of view of applied science, the patterns of glacial erosion and dispersal of bedrock components are of paramount importance for, among other things: (1) mineral exploration, particularly in tracing the sources of metal-rich till or mineralized boulders; (2) interpretation of environmental geochemistry, particularly in relation to patterns of carbonate dispersal (acid rain) and in patterns of mercury and other heavy-metal enrichment in water bodies (Hornbrook & Jonasson, 1971); (3) in the siting of transportation routes and pipelines; and (4) in the interpretation and extrapolation of limnological and oceanographic data, much of which is profoundly influenced by glacial and lateglacial events.

In short, an accurate reconstruction of the Quaternary history of Hudson Bay should serve as the basic framework within which almost all other aspects of scientific study of the region are carried out. As no part of the area was untouched by glaciation, no postglacial geomorphic process, biologic process, or human activity can be considered to be independent of its effects.

### Acknowledgments

Naturally a paper such as this is based on the work of many scientists. The unique marine shell

collections from which the amino acid data were gathered were removed from samples provided by B.C. McDonald, B.G. Craig, R.G. Skinner, R.N.W. DiLabio and A.R. Miller — all presently or formerly Geological Survey of Canada geologists — and by the Polar Gas Consortium through the offices of W.D. Roggensack of E.B.A. Engineering, Ltd. of Edmonton. Amino acid analyses were carried out at the University of Colorado by J.T. Andrews and G.H. Miller as part of a joint project with the Geological Survey of Canada. C.A. Kaszycki and P. Honarvar carried out virtually all of the pebble analyses on which the regional dispersal patterns are based. C.F.M. Lewis and B.V. Sanford collected and contributed the samples of bottom sediments from Hudson Bay, and C.M. Gilchrist (Cunningham) collected most of the regional samples from the District of Keewatin. Canadian Coast Guard Ship *Pierre Radisson* provided a logistical base for the critical reconnaissance of Coats and Mansel islands. B.C. McDonald and R.N.W. DiLabio made helpful comments on early versions of this manuscript. The manuscript has been significantly improved by modifications suggested by critical readers J.T. Andrews and L. Hardy.

### References

- ANDREWS, J.T., 1969. The pattern and interpretation of restrained post-glacial and residual rebound in the area of Hudson Bay. — Pages 49-62 in P.J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 386 p.
- ANDREWS, J.T., 1973. The Wisconsin Laurentide ice sheet: dispersal centers, problems of rates of retreat, and climatic implications. — *Arct. Alp. Res.*, 5: 185-199.
- ANDREWS, J.T. & D.M. BARNETT, 1972. Analysis of strandline tilt directions in relation to ice centers and postglacial crustal deformation, Laurentide ice sheet. — *Geogr. Annir*, 54: 1-11.
- ANDREWS, J.T. & G. FALCONER, 1969. Late glacial and post-glacial history and emergence of the Ottawa Islands, Hudson Bay, Northwest Territories: evidence of the deglaciation of Hudson Bay. — *Can. J. Earth Sci.*, 6: 1263-1275.
- ANDREWS, J.T. & W.R. PELTIER, 1976. Collapse of the Hudson Bay ice center and glacio-isostatic rebound. — *Geol. Soc. Am., Geology*, 4: 73-75.
- ANDREWS, J.T., W.W. SHILTS & G.H. MILLER (in press). Multiple deglaciation of the Hudson Bay lowlands since deposition of the Missinaibi (last interglacial?) formation. — *Quaternary Research*, vol. 18.
- BELL, J.M., 1904. Economic resources of Moose River basin. — *Ontario Bureau of Mines*, 13: 135-179.
- BELL, R., 1877. Report on an exploration in 1875 between James Bay and Lakes Superior and Huron. — *Geol. Surv. Can., Rep. Progr.* 1875-1876: 294-342.
- BIRD, J.B., 1953. The glaciation of central Keewatin, Northwest Territories, Canada. — *Am. J. Sci.*, 251: 215-230.
- BIRD, J.B., 1970. The final phase of the Pleistocene ice sheet north of Hudson Bay. — *Acta geogr. Univ. Iodz.*, 24: 75-89.
- BOISSONNEAU, A.N., 1966. Glacial history of northeastern Ontario. I. The Cochrane-Hearst area. — *Can. J. Earth Sci.*, 3: 559-578.
- COKER, W.B. & W.W. SHILTS, 1979. Lacustrine geochemistry around the north shore of Lake Superior: implications for evaluation of the effects of acid precipitation. — *Geol. Surv. Can., Paper no. 79-1C*, pages 1-15.
- CRAIG, B.G., 1969. Late-glacial and postglacial history of the Hudson Bay region. — Pages 63-77 in P.J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 386 p.
- DENTON, G.H. & T.J. HUGHES, 1981. The last great ice sheets. — John Wiley and Sons, New York, 484 p.
- DIMROTH, E., W.R.A. BARAGAR, R. BERGERON & G.D. JACKSON, 1970. The filling of the circum-Ungava geosyncline. — Pages 45-142 in A.J. Baer (ed.). Basins and geosynclines of the Canadian Shield. Geol. Surv. Can., Paper no. 70-40, 265 p.
- DIONNE, J.C., 1974. The eastward transport of erratics in James Bay area, Québec. — *Revue Géogr. Montréal*, 28: 453-457.
- DONALDSON, J.A., 1965. The Dubawnt group, districts of Keewatin and Mackenzie. — *Geol. Surv. Can., Paper no. 64-20*, 11 p.
- DOUGLAS, R.J.W. (ed.), 1970. Geology and economic minerals of Canada. — *Geol. Surv. Can., Econ. Geol., Rep. no. 1*, 838 p.
- FLINT, R.F., 1943. Growth of North American ice sheet during Wisconsin age. — *Bull. geol. Soc. Am.*, 54: 325-362.
- FLINT, R.F., 1971. Glacial and Quaternary geology. — John Wiley and Sons, New York, 892 p.
- GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA, 1959. Helicopter operations of the Geological Survey of Canada. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 54, 60 p.
- GRANT, D.R., 1969. Surficial deposits, Manitowadge, Ontario. — *Geol. Surv. Can., Paper no. 69-1a*, pages 198-199.
- HARDY, L., 1976. Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses-terres de la baie de James. — Ph. D. thesis, McGill Univ., Montréal, 264 p.
- HARDY, L., 1977. La déglaciation et les épisodes lacustre et marin sur le versant québécois des basses-terres de la baie de James. — *Géogr. phys. Quat.*, 31: 261-273.



- HARDY, L., 1982. Le Wisconsinien supérieur à l'est de la baie James (Québec). — *Naturaliste can.*, 109: 333-351.
- HENDERSON, E. P., 1959. A glacial study of central Québec-Labrador. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 50, 94 p.
- HORN BROOK, E. W. H. & I. R. JONASSON, 1971. Mercury in permafrost regions: occurrence and distribution in the Kaminak Lake area, Northwest Territories. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 71-43, 13 p.
- HUGHES, O. L., 1964. Surficial geology, Nichicun-Kaniapiskau map area, Québec. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 106, 20 p.
- HUGHES, O. L., 1965. Surficial geology, of part of the Cochrane District, Ontario, Canada. — *Geol. Soc. Am.*, Special Paper no. 84, pages 535-565.
- HUGHES, T., G. H. DENTON & M. G. GROSSWALD, 1977. Was there a late-Wurm arctic ice sheet? — *Nature*, 266: 596-602.
- IVES, J. D., J. T. ANDREWS & R. G. BARRY, 1975. Growth and decay of the Laurentide ice sheet and comparisons with Fenno-Scandinavia. — *Naturwissenschaften*, 62: 118-125.
- KLASSEN, R. W. (in press). Surficial geology of north-central Manitoba. — *Mem. geol. Surv. Can.*
- LAINE, E. P., 1980. New evidence from beneath the western North Atlantic for the depth of glacial erosion in Greenland and North America. — *Quat. Res.*, 14: 188-198.
- LECHEMINANT, A. N., R. W. LEATHERBARROW & A. R. MILLER, 1979. Thirty Mile Lake map area, District of Keewatin. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 79-1b, pages 319-327.
- LECHEMINANT, A. N., T. R. IANELLI, B. ZAITLIN & A. R. MILLER, 1981. Geology of Tebesjuak Lake map area, district of Keewatin: a progress report. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 81-1B, pages 113-128.
- LECHEMINANT, A. N., A. R. MILLER, G. W. BOOTH, M. J. MURRAY & G. A. JENNER, 1980. Geology of the Tebesjuak Lake map area, District of Keewatin: a progress report with notes on uranium and base metal mineralization. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 80-1A, pages 339-346.
- LEE, H. A., 1959a. Surficial geology of southern District of Keewatin and the Keewatin ice divide, Northwest Territories. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 51, 27 p.
- LEE, H. A., 1959b. Eastward transport of glacial erratics from Hudson Bay. — *Bull. Geol. Soc. Am.*, 70: 219-222.
- LEE, H. A., 1960. Late glacial and post-glacial Hudson Bay sea episode. — *Science*, 131: 1609-1611.
- LEE, H. A., B. G. CRAIG & J. G. FYLES, 1957. Keewatin ice divide. (abs) — *Bull. geol. Soc. Am.*, 68: 1760-1761.
- MARTIN, L., 1935. Patrician ice sheet on North American glacial maps. — Pages 8-11 in C. Keyes (ed.). Patricia centre of glaciation, a symposium. *Pan-Am. Geol.*, no. 63, 30 p.
- McDONALD, B. C., 1969. Glacial and interglacial stratigraphy, Hudson Bay lowland. — Pages 78-79 in P. J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 68-53, 386 p.
- McDONALD, B. C., 1971. Late Quaternary stratigraphy and deglaciation in eastern Canada. — Pages 331-353 in K. Turekian (ed.). The Late Cenozoic glacial ages. Yale University Press, New Haven, Conn., 606 p.
- McDONALD, B. C. & R. G. SKINNER, 1969. Post-glacial marine limit at Pitz Lake, District of Keewatin (65 P). — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 69-1A, 214 p.
- MILLER, G. H. & P. E. HARE, 1980. Amino acid geochronology: integrity of the carbonate matrix and potential of molluscan fossils. — Pages 415-443 in P. E. Hare, T. C. Hoering & K. King Jr. (eds.). International conference on the biogeochemistry of amino acids. Air lie House, New York, 558 p.
- MILLIMAN, J. D. & K. O. EMERY, 1968. Sea levels during the past 35,000 years. — *Science*, 162: 1121-1123.
- NETTERVILLE, J., 1974. Quaternary stratigraphy of the lower God's River region, Hudson Bay lowlands, Manitoba. — M.Sc. thesis, Univ. Calgary, Alberta, 79 p.
- PATERSON, W. S. B., 1972. Laurentide ice sheet: estimated volumes during late Wisconsin. — *Rev. Geophys. Space Phys.*, 10: 885-917.
- PELLETIER, B. R., 1969. Submarine physiography, bottom sediments, and models of sediment transport in Hudson Bay. — Pages 100-135 in P. J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 68-53, 386 p.
- SANFORD, B. V. & G. M. GRANT, 1976. Physiography, eastern Canada and adjacent areas. — *Geol. Surv. Can.*, Map 1399 A, 4 sheets.
- SANFORD, B. V., A. C. GRANT, J. A. WADE & M. S. BARSS, 1979. Geology of eastern Canada and adjacent areas. — *Geol. Surv. Can.* Map 1401 A, 4 sheets.
- SHACKLETON, N. J. & N. D. OPDYKE, 1973. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a  $10^5$  and  $10^6$  year scale. — *Quat. Res.*, 3: 39-55.
- SHILTS, W. W., 1977. Geochemistry of till in perennially frozen terrain of the Canadian Shield: application to prospecting. — *Boreas*, 6, 203-212.
- SHILTS, W. W., 1980a. Geochemical profile of till from Longlac, Ontario to Somerset Island. — *Can. Min. Metall. Bull.*, 73, no. 822: 85-94.

- SHILTS, W.W., 1980b. Flow patterns in the central North American ice sheet. — *Nature*, 286: 213-218.
- SHILTS, W.W., C.M. CUNNINGHAM & C.A. KASZYCKI, 1979. Keewatin ice sheet re-evaluation of the traditional concept of Laurentide ice sheet. — *Geol. Soc. Am., Geology*, 7: 537-541.
- SHILTS, W.W., G.H. MILLER & J.T. ANDREWS, 1981. Glacial flow indicators and Wisconsin glacial chronology, Hudson Bay/James Bay lowlands: evidence against a Hudson Bay ice divide. — *Geol. Soc. Am., Abstracts with Programs*, 13 (7): 553.
- SKINNER, R.G., 1973. Quaternary stratigraphy of the Moose River basin, Ontario. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 225, 77 p.
- STUIVER, M., C.J. HEUSSER & I.C. YANG, 1978. North American glacial history extended to 75,000 years ago. — *Science*, 200: 16-21.
- SUGDEN, D.E., 1978. Glacial erosion by the Laurentide ice sheet. — *J. Glaciol.*, 21: 367-391.
- TAYLOR, R.S., 1956. Glacial geology of north-central Keewatin, Northwest Territories, Canada. — *Bull. geol. Soc. Am.*, 67: 943-956.
- TERASMAE, J. & O.L. HUGHES, 1960. A palynological and geological study of Pleistocene deposits in the James Bay lowlands, Ontario. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 62, 15 p.
- TYRRELL, J.B., 1898. The glaciation of north-central Canada. — *J. Geol.*, 6: 147-160.
- TYRRELL, J.B., 1913. Hudson Bay exploring expedition 1912. — *Ontario Bureau of Mines, A. Rep.*, 22: 161-209.
- VINCENT, J.-S. & L. HARDY, 1979. The evolution of glacial lakes Barlow and Ojibway, Québec and Ontario. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 316, 18 p.
- WALCOTT, R.I., 1972. Late Quaternary vertical movements in eastern North America: quantitative evidence of glacio-isostatic rebound. — *Rev. Geophys. Space Phys.*, 10: 849-884.
- WHITE, W.A., 1972. Deep erosion by continental ice sheets. — *Bull., geol. Soc. Am.*, 83: 1037-1056.
- WILLIAMS, L.D., 1979. An energy-balance model of potential glacierization of northern Canada. — *Arct. Alp. Res.*, 11: 443-456.
- WRIGHT, G.M., 1967. Geology of the southeastern Barren Grounds, parts of the districts of Mackenzie and Keewatin (Operations Keewatin, Baker, Thelon). — *Mem. geol. Surv. Can.*, no. 350, 91 p.
- ZOLTAI, S.C., 1965. Glacial features of the Quetico-Nipigon area, Ontario. — *Can. J. Earth Sci.* 2: 247-269.

## LE WISCONSINIEN SUPÉRIEUR À L'EST DE LA BAIE JAMES (QUÉBEC)

L. HARDY

*Les Consultants SOGEAM Inc.*  
460 rue Saint-Charles Ouest, Longueuil, Québec J4H 1G4

### Résumé

Les événements survenus lors de la déglaciation du versant québécois de la baie James sont à l'origine de quatre grandes unités stratigraphiques : le till grossier et les matériaux fluvio-glaciaires associés, mis en place par le glacier du Nouveau-Québec ; le till de Cochrane, mis en place par le glacier d'Hudson ; les sédiments du lac glaciaire Ojibway ; et les sédiments de la mer de Tyrrell. Ces unités se superposent ou se juxtaposent suivant l'ordre chronologique et l'extension géographique des événements glaciaires, lacustre et marin.

Le till grossier et les sédiments fluvio-glaciaires se retrouvent à la base de la séquence et ils sont distribués sur l'ensemble du territoire. Sur le versant sud de la baie, ces matériaux sont généralement recouverts d'un épais dépôt d'argile glacio-lacustre. Les sédiments varvés s'amincissent vers le nord et vers l'est et disparaissent complètement à proximité de la moraine frontale de Sakami, qui marque la position occupée par le front glaciaire au moment de la vidange du lac Ojibway et de l'incursion marine.

Les réavancées de Cochrane s'insèrent dans les 400 dernières années de l'épisode lacustre. Elles ont affecté le pourtour de la baie jusqu'aux limites sud et sud-est des basses-terres. Le till de Cochrane s'intercale entre deux couches d'argile lacustre, mais il s'appuie fréquemment sur le till grossier ou le roc.

Les sédiments marins comprennent trois faciès ; leur distribution est liée principalement à l'altitude et à la topographie. Les sédiments fins sont plus abondants sur le pourtour de la baie et dans les longues vallées qui rejoignaient le front glaciaire pendant la déglaciation. Les sédiments pré-littoraux et littoraux se retrouvent jusqu'à l'altitude de 290 m. Ils sont mieux développés sous l'altitude de 40 m en raison de l'émergence beaucoup plus lente du terrain au cours des derniers millénaires.

La chronologie des événements s'appuie sur l'âge radiocarbone du début de l'épisode marin auquel on a raccordé une chronologie relative, basée sur les varves, dans laquelle l'année 0 correspond à la vidange du lac glaciaire et l'incursion marine synchrone.

### Abstract

The geological events that occurred along with or that followed the ice retreat from the Québec side of James Bay are responsible for the formation of four main stratigraphic units : the coarse till associated with fluvio-glacial deposits, laid down by the Nouveau-Québec glacier ; the Cochrane till, deposited by the Hudson glacier ; the glacial Lake Ojibway and the Tyrrell Sea sediments. These units are superimposed to one another or are placed side by side depending on the chronological sequence and the geographical range of the glacial, lacustrine and marine events.

The coarse till and the fluvio-glacial sediments lie at the base of the sequence and are distributed over the entire basin. On the southern side of the bay, a thick cover of glacio-lacustrine clays is usually resting upon these deposits. The varved sediments are thinning down in northward and eastward direction and are completely disappearing close to the Sakami moraine which marks the position

of the glacial front when Lake Ojibway was drained and marine waters were invading.

The Cochrane readvances occurred during the last 400 years of the lacustrine episode and affected the outline of the bay as far as the southern and southeastern limits of the lowlands. The Cochrane till is inserted between two lacustrine clay layers but is frequently lying directly on the coarse till or the bedrock.

The marine sediments are composed of three main facies and their distribution is related mainly to altitude and topography. The fine sediments are more abundant in the coastal area and in the long valleys extending to the glacial front during deglaciation. The nearshore and littoral coarser sediments are found up to an altitude of 290 m. They are well developed under the 40 m level which coincides with a slower emersion rate during the last 4,000 years.

The timing of events is established from radiocarbon dates on the beginning of the marine episode and from a relative chronology based on varves in which year 0 corresponds to the drainage of the glacial lake and the synchronous marine invasion.

### Introduction

La stratigraphie et les modalités de mise en place des dépôts meubles du versant oriental de la baie James ont reçu peu d'attention avant le début de la dernière décennie. Avec la mise en valeur des ressources hydro-électriques, amorcée en 1971, les connaissances de la géologie et de la géomorphologie du territoire ont été augmentées considérablement (Dionne, 1974, 1978a, 1978b, 1978c; Hardy, 1976, 1977; Vincent, 1973, 1974, 1975, 1977). De plus, les forages effectués le long des principaux cours d'eau par la Société d'Énergie de la Baie James, (SEBJ), ont fourni des données très utiles sur la nature, l'épaisseur et la répartition des unités stratigraphiques.

Par sa position, le versant oriental de la baie James constitue un site privilégié pour l'étude des événements géologiques du Wisconsinien supérieur. Il est situé dans l'axe de scission du secteur labradoréen du glacier des Laurentides et dans l'aire d'extension des énigmatiques réavancées de Cochrane. Sa limite ouest chevauche le plan de contact entre les roches précambriennes non carbonatées à l'est, et les formations paléozoïques carbonatées à l'ouest, ce qui facilite la distinction entre les sédiments associés aux différents mouvements glaciaires. Enfin, comme le glacier évoluait au contact de profondes masses d'eau, d'abord lacustres, puis marines, les événements glaciaires sont enregistrés dans des séquences de varves qui permettent l'établissement d'une chronologie relative, et l'âge radiocarbone des coquillages marins a pu fournir d'abondantes données pour dater les positions des fronts glaciaires, la

vidange du lac et le taux de relèvement isostatique.

La présente contribution résume les données portant sur l'arrangement vertical et horizontal des couches de matériaux meubles ainsi que l'interprétation des événements responsables de leur mise en place. Les données ont été recueillies principalement par l'auteur pendant les travaux effectués sur l'ensemble du territoire entre 1972 et 1980. Les changements de faciès dans les principales couches ont pu être vérifiés par l'analyse des résultats de nombreux forages effectués par la Société d'Énergie de la Baie James.

Pour les fins de l'étude, le territoire considéré s'étend au nord de la latitude 49°N., entre la frontière interprovinciale à l'ouest et la longitude 75°O. à l'est (fig. 1). Toutes les unités stratigraphiques reconnues du Wisconsinien supérieur se retrouvent dans cette portion du bassin hydrographique.

### Séquence stratigraphique généralisée

La presque totalité des matériaux meubles sur le versant oriental de la baie James ont été mis en place pendant la dernière déglaciation et les épisodes lacustre et marin subséquents. L'examen des coupes le long des principales rivières et l'analyse des résultats de forages indiquent la présence de sédiments antérieurs au Wisconsinien supérieur dans quatre sites dont la description sommaire est fournie ci-après :

Rivière Harricana, rive gauche, 75 km de l'embouchure, lat. 50°35'N., long. 79°10'O.; site décrit par Hardy (1976). Il s'agit de minces

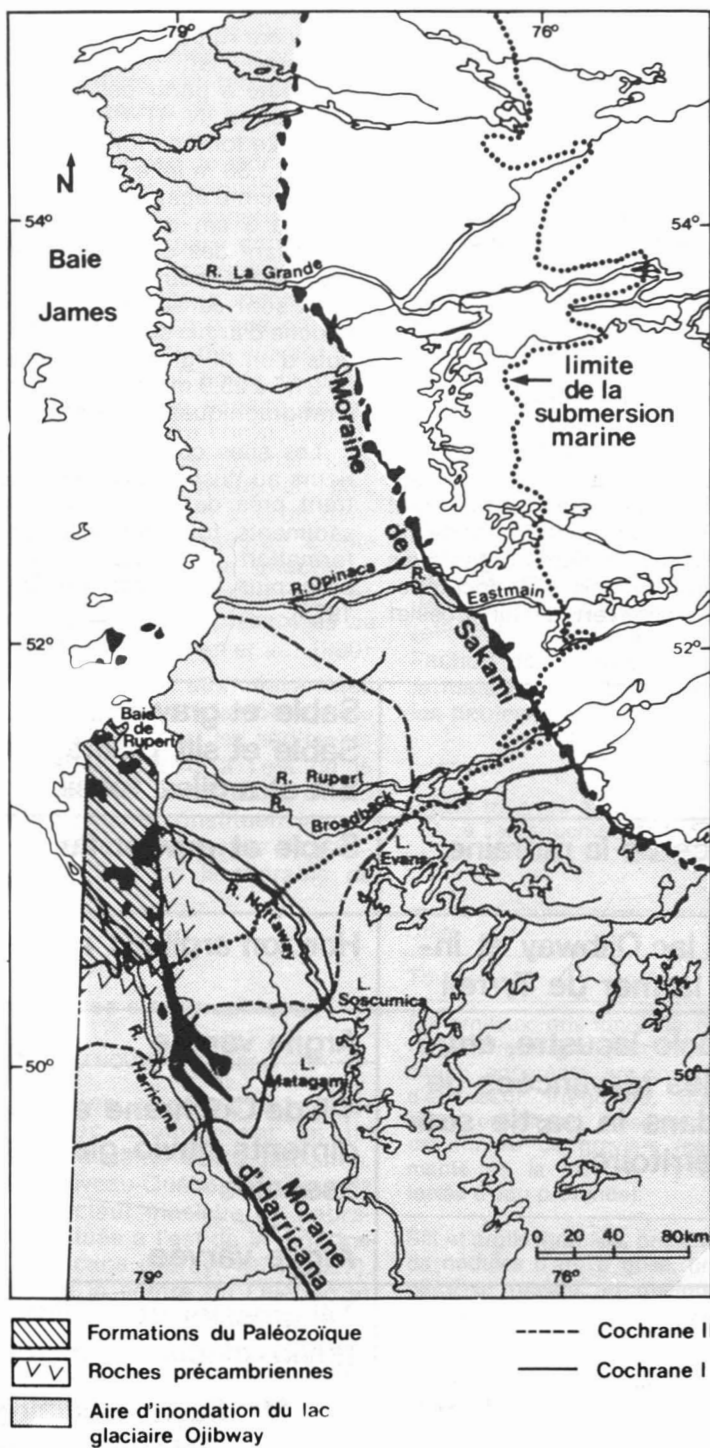


Figure 1. Carte de localisation de la région étudiée.

couches de silt organique interstratifiées avec des lits plus épais de silt argileux, très compact. Un âge de plus de 42 000 ans (Y-1165; Stuiver *et al.*, 1963) a été obtenu sur de la matière organique prélevée probablement à ce site par J.C. Durden en 1961.

Rivière Nottaway, rive gauche, 19 km de l'embouchure, lat. 51°11' N., long. 78°55' O.; site décrit par Hardy (1980). Il s'agit d'une séquence varvée de 3 m d'épaisseur faite d'argile silteuse très dense, chaque varve faisant environ 1 cm, recouverte de 5 m de till grossier, puis de la succession de dépôts post-glaciaires.

Rivière Nottaway, trois coupes à des distances variant entre 25 et 31 km de l'embouchure, lat. 51°97' N., long. 78°48' O.; décrites par G. Locat (Laboratoire d'inspection et d'essais Inc., 1978). Les sections montrent un silt fossilifère recouvert localement de silt argileux contenant des matières organiques dont des morceaux de bois peu décomposés, le tout étant recouvert de till grossier

mis en place par le glacier du Nouveau-Québec.

Rivière Rupert, rive gauche, 4 km de l'embouchure, lat. 51°28' N., long. 78°41' O.; interprété à partir des données d'un forage de 30,86 m (N° TF-PB-151-79, Lupien *et al.*, 1980). Le fond du forage a traversé une couche de 1,36 m faite de lits de silt gris vert de 2,5 à 7 cm d'épaisseur alternant avec des lits de 3 à 5 cm de silt sablonneux gris noir contenant des graviers fins et des matières organiques peu décomposées. Les matériaux sont denses. Ils sont recouverts d'une couche d'argile silteuse de 3,6 m d'épaisseur, puis d'un till grossier entre les profondeurs de 21,5 à 25,9 m, et enfin par les autres unités stratigraphiques du Wisconsinien supérieur.

Les sites contenant des sédiments antérieurs au Wisconsinien supérieur se concentrent près de la côte sud de la baie. Ces sédiments font probablement partie de la formation interglaciaire de Missinaibi décrite plus à l'ouest, en Ontario (Skinner, 1973).

<b>Épisode marin</b>	<b>Sable et gravier littoraux</b> <b>Sable et silt pré littoraux</b> <b>Silt et argiles fossilifères</b>
<b>Mise en place de la moraine de Sakami</b>	<b>Sable et gravier fluvio-glaciaires</b>
<b>Vidange du lac Ojibway et incursion de la mer de Tyrrell</b>	<b>Horizon argileux et graveleux</b>
<b>Épisode glacio-lacustre, entrecoupé par les réavancées de Cochrane dans la partie sud-ouest du territoire</b>	<b>Argile varvée</b>
	<b>Till de Cochrane et sédiments fluvio-glaciaires associés</b>
	<b>Argile varvée</b>
<b>Déglaciation</b>	<b>Till grossier et sédiments fluvio-glaciaires associés</b>
<b>Scission du glacier des Laurentides (secteur du Labrador)</b>	<b>Dépôts fluvio-glaciaires de la moraine interlobaire d'Haricana</b>

Figure 2. Stratigraphie fini-glaciaire du versant est de la baie James.

Sur le reste du territoire, la séquence stratigraphique comporte essentiellement les dépôts glaciaires, lacustres et marins mis en place pendant le Wisconsinien supérieur. La stratigraphie généralisée est résumée à la figure 2. La mise en place de tous ces matériaux, sauf l'horizon argileux et graveleux associé à la vidange du lac de même que la moraine de Sakami, est attribuable à des agents dont l'action ne fut synchrone que pour une altitude ou un espace donné. Leur formation doit donc être considérée comme progressive («time-transgressive»). De plus, les agents de mise en place ont opéré dans un secteur défini ou suivant des conditions locales qui ont limité la distribution des matériaux à un espace donné. La figure 2 situe donc l'ordre chronologique de mise en place des sédiments sans présumer de leur superposition. Le plus grand nombre d'unités en un endroit dans les basses-terres se retrouve près de la côte sud-est de la baie. Un forage effectué à l'embouchure de la rivière Broadback, en rive droite, montre les unités présentées au tableau I (TF-BE-151-79, Lupien *et al.*, 1980).

Les matériaux associés aux réavancées de Cochrane disparaissent sur la côte est, au nord de la baie de Rupert, et les sédiments glacio-lacustres sont absents à l'est de la moraine de Sakami. Le till grossier et les matériaux fluvio-glaciaires constituent la couche meuble inorganique au-dessus de l'altitude de 290 m, à l'est de la moraine de Sakami.

### Principales unités stratigraphiques

#### DÉPÔTS DU GLACIER DU NOUVEAU-QUÉBEC

Les dépôts mis en place par le glacier du Nouveau-Québec comprennent un till grossier et des sédiments fluvio-glaciaires. Le glacier du Nouveau-Québec désigne la composante du secteur glaciaire du Labrador (Prest, 1970) située à l'est de la moraine interlobaire d'Harricana (Hardy, 1976, 1977), qui se retirait vers le centre du Québec et qui montrait un écoulement dirigé vers le sud-ouest et l'ouest pendant la déglaciation. La glace a chevauché les roches cristallines du Bouclier canadien et elle a produit un till non carbonaté dans lequel les fractions granulométriques se distribuent comme suit (fig. 3) : 3 à 7% d'argile, 15 à 35% de silt, 30 à 60% de sable et 15 à 30% de gravier, cailloux et blocs.

Le till grossier montre généralement une couleur gris foncé sur les coupes fraîches et devient brun à brun jaune après altération. Il constitue un matériau très dense et sans structure apparente. Dans les milliers de dépôts de till examinés sur l'ensemble du territoire, tous les éléments grossiers provenaient de la roche du bouclier et la matrice n'était pas carbonatée. À l'est de la région, sur le pourtour du lac Mistassini, les dolomies du Protérozoïque ont cependant fourni une certaine fraction de carbonates. Le matériau présente les mêmes caractéristiques de texture, de couleur et de lithologie dans l'ensemble de l'accumulation, sous la couche superficielle altérée.

Le till grossier est bien représenté sur l'ensemble du territoire, sauf dans le coin sud-ouest, délimité par la rivière Broadback et la longitude 78° O., où il est très rare. Soulignons que le till comme tel n'affleure pas dans les basses-terres puisque, sur les terrains bas ou en dépression, il est recouvert par les argiles et, dans les endroits en relief, il a été délavé superficiellement par l'action des vagues. Il constitue cependant le matériau de surface le plus abondant sur les hautes-terres.

TABLEAU I

Unités trouvées à l'occasion d'un forage effectué à l'embouchure de la rivière Broadback (TF-BE-151-79, Lupien *et al.*, 1980)

Unité	Épaisseur (m)
Tourbe	0,55
Silt argileux, gris foncé, taches de matières organiques, stratification apparente en couches d'épaisseur irrégulière, quelques coquillages, présence occasionnelle de graviers (sédiments de la mer de Tyrrell, faciès d'eau profonde).	12,25
Silt et argile stratifiés, présence de nodules d'argile grise, brunâtre et rosâtre, et quelques graviers (horizon de vidange du lac glaciaire Ojibway).	0,55
Argile varvée (sédiments du lac Ojibway).	1,0
Till de Cochrane	3,45
Till grossier du glacier du Nouveau-Québec.	>2

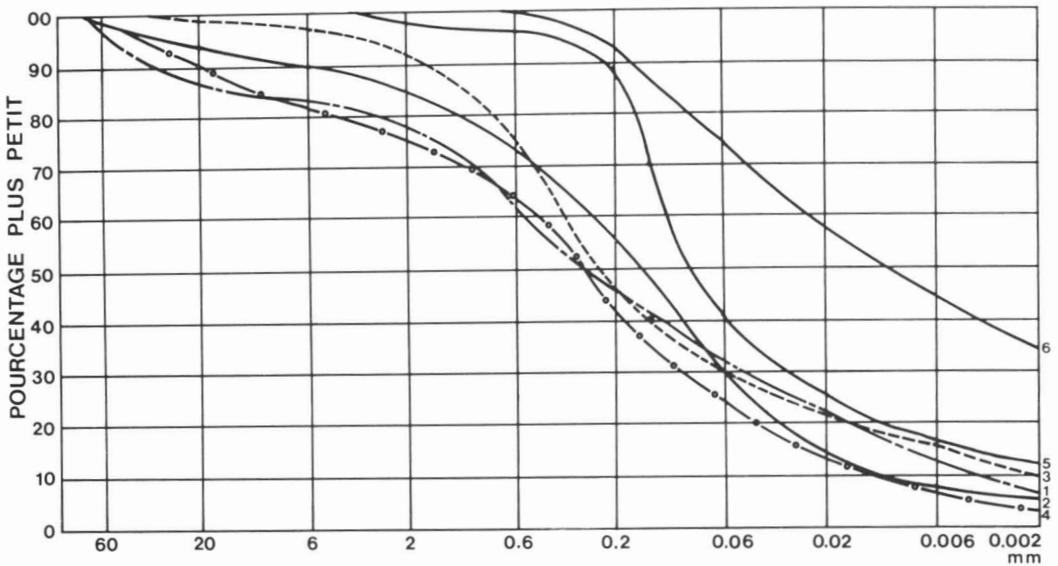


Figure 3. Granulométrie du till grossier mis en place par le glacier du Nouveau-Québec. Courbes 1 à 3: échantillons prélevés dans des formes profilées; courbes 4 à 6: échantillons prélevés dans des moraines de De Geer.

Les matériaux fluvioglaciers provenant du délavage du till grossier sont composés de sable et de gravier avec une faible proportion de cailloux. Les deux accumulations les plus importantes sont représentées par la moraine interlobaire d'Harricana, qui s'étire vers le N.N.O. à proximité de la rivière Harricana, et par la moraine frontale de Sakami qui recoupe le nord-est du territoire (fig. 1). La largeur et la hauteur de ces accumulations peuvent atteindre 10 km et 100 m respectivement. Les autres dépôts se retrouvent dans de petites moraines frontales et dans des eskers. À l'ouest de la moraine de Sakami, sous l'altitude de 250-270 m, les seuls dépôts fluvioglaciers se retrouvent plutôt dans des formes très évaseées, sans modelé défini.

#### TILL DE COCHRANE

Le till de Cochrane contraste avec le till grossier par sa texture beaucoup plus fine et la présence de carbonates. La distribution granulométrique basée sur 25 échantillons, prélevés à la bordure et à l'intérieur du territoire affecté par ces récurrences, se présente comme suit: 25 à 45% d'argile, 42 à 52% de silt, 15 à 30% de sable et 1 à 5% de gravier. Comme l'indiquent les courbes 1 à 6 de la figure 4, le matériau montre généralement une granulométrie très homogène. La courbe 7 représente un échantillon

de till recueilli à la surface d'un dépôt de sable, ce qui explique sa forte composante sableuse (45%).

La teneur en carbonates de la composante inférieure à 1 mm varie de 3 à 7% et le pourcentage de graviers d'origine paléozoïque varie de 4 à 10%. Aucune progression significative dans la teneur en carbonates, la proportion d'éléments grossiers paléozoïques ou la fraction argileuse n'a pu être décelée en fonction de la distance parcourue par la glace lors des récurrences.

En coupe fraîche, le matériau est gris bleu à gris brun, massif et de compacité variable. Il devient brunâtre après altération et la dessiccation entraîne le développement de joints verticaux. Le till est généralement compact sur les points élevés alors que sur les points bas et sur le pourtour de la baie, il est tantôt lâche et tantôt compact.

Bien qu'au moins deux réavancées aient été reconnues tant par les marques d'écoulement que dans les séquences varvées, les caractéristiques des matériaux et la stratigraphie ne permettent pas de distinguer plus d'un till.

Sur le pourtour de la baie, le till de Cochrane repose généralement directement sur le till grossier ou sur le roc. Plus au sud-est, il recouvre localement les argiles varvées dont il est séparé par un horizon



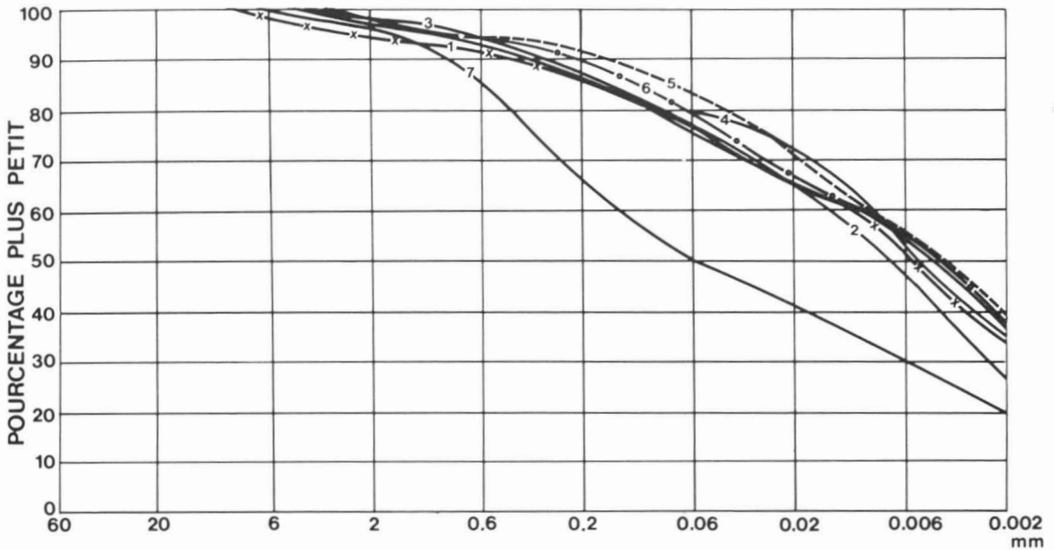


Figure 4. Granulométrie du till de Cochrane.

de transition marqué par des lentilles de varves plissées et écrasées. Dans les endroits bas, le till argileux est recouvert par une couche d'environ 2 m d'argile lacustre, elle-même surmontée par les argiles marines dont l'épaisseur près de la baie de Rupert peut atteindre 25 m.

Des épaisseurs de till argileux de 1 à 9 m ont été traversées localement dans les forages, mais l'épaisseur de 2 à 4 m est beaucoup plus fréquente. Aucune moraine terminale ni épaissement de la couche de till ne marquent la progression maximale des réavancées.

Le till de Cochrane n'a pas été observé au nord de la rivière Rupert et il est peu représenté sur l'interfluve Broadback-Rupert. La couverture de till semble à peu près continue au sud-est de la baie, dans la portion du territoire située au-dessus de l'altitude de 120-200 m et au-dessous de la cote de 250-275 m. Il s'agit d'une bande de terrain dont la largeur varie de 60 à 110 km, et qui montre une inclinaison générale vers la baie beaucoup plus prononcée que la plaine côtière, au nord-ouest, et que la plaine d'argile lacustre, au sud. Les matériaux y sont modelés en longs drumlinoïdes qui ont imposé le développement de petits réseaux hydrographiques parallèles (fig. 5). Les limites méridionales du till de Cochrane, considéré comme unité stratigraphique, se situent aux environs de la latitude 50°35' N.

Des blocs isolés sont cependant dispersés à plusieurs dizaines de kilomètres au sud de ces limites.

#### SÉDIMENTS DU LAC OJIBWAY

Les sédiments glacio-lacustres se retrouvent sous trois faciès, soit les dépôts littoraux, les dépôts pré-littoraux et les argiles varvées mises en place en eau profonde. Les deux premiers faciès ont une distribution restreinte dans le territoire et une importance limitée dans l'interprétation stratigraphique. Soulignons seulement qu'ils se situent sous la limite maximale de 460 m observée sur le versant est et au-dessus de la limite minimale de 350 m observée sur le versant sud (Vincent & Hardy, 1977).

L'argile varvée constitue une unité stratigraphique très importante dans toute la moitié sud des basses-terres, tant par l'épaisseur considérable de ses accumulations que par leur signification dans la reconstitution des événements glaciaires. L'épaisseur moyenne des argiles lacustres est de 12-14 m dans la partie sud des basses-terres où elles forment une accumulation continue. Elle s'accroît localement jusqu'à 20 et même 30 m en approchant des limites des réavancées de Cochrane, puis elle décroît vers l'est et plus rapidement vers le nord. Elle n'est plus que de 5 m au nord du Rupert et de 1,5 m dans la vallée de la Grande Rivière.

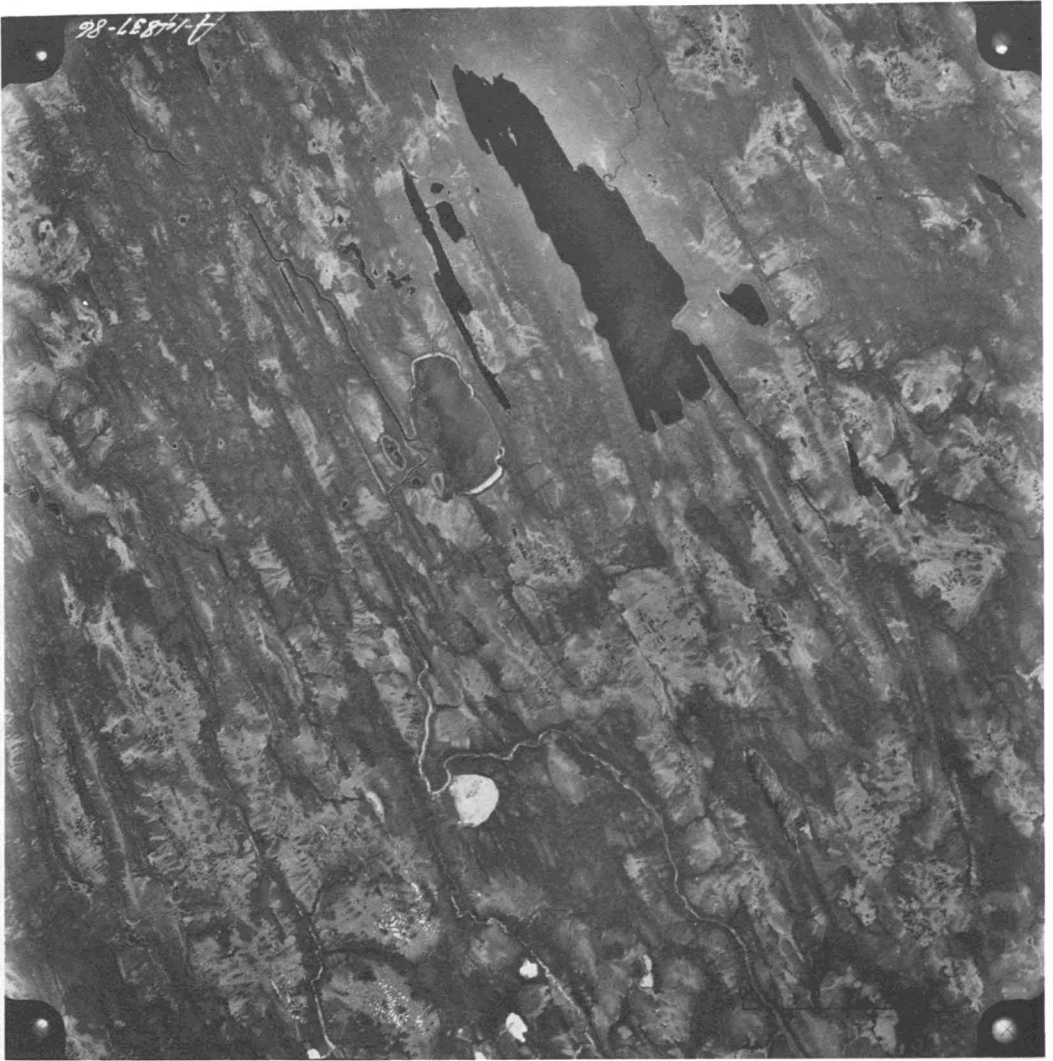


Figure 5. Longs drumlinoïdes associés aux réavancées de Cochrane ( $50^{\circ}31'N.$ ,  $78^{\circ}22'O.$ ). Photographie nationale, photo n° A-14837-86.

Les sédiments glacio-lacustres présentent des caractéristiques très différentes selon que leur mise en place a été influencée par les réavancées de Cochrane ou par la fonte du glacier du Nouveau-Québec.

*Séquences influencées  
par les réavancées de Cochrane*

Les séquences décrites plus bas ne concernent que les accumulations étudiées au sud de la rivière Broadback et plus particulièrement dans le secteur des lacs Matagami et Soscumica, soit à des distances de 20 à 40 km au sud-est des fronts du Cochrane. Soulignons que la partie supérieure de la

séquence a été observée localement à quelques kilomètres au nord de la rivière Rupert.

Les relations entre l'épaisseur des varves, la teneur en carbonates et la proportion argileuse permettent de subdiviser les séquences en 7 unités (fig. 6). Ces unités sont décrites au tableau II.

Aux limites immédiates du till de Cochrane, les varves des unités 3, 5, 6 et 7 s'épaississent suffisamment pour expliquer les puissantes accumulations argileuses qui entourent les limites sud et sud-est des réavancées. Les varves de l'unité 6 y ont une

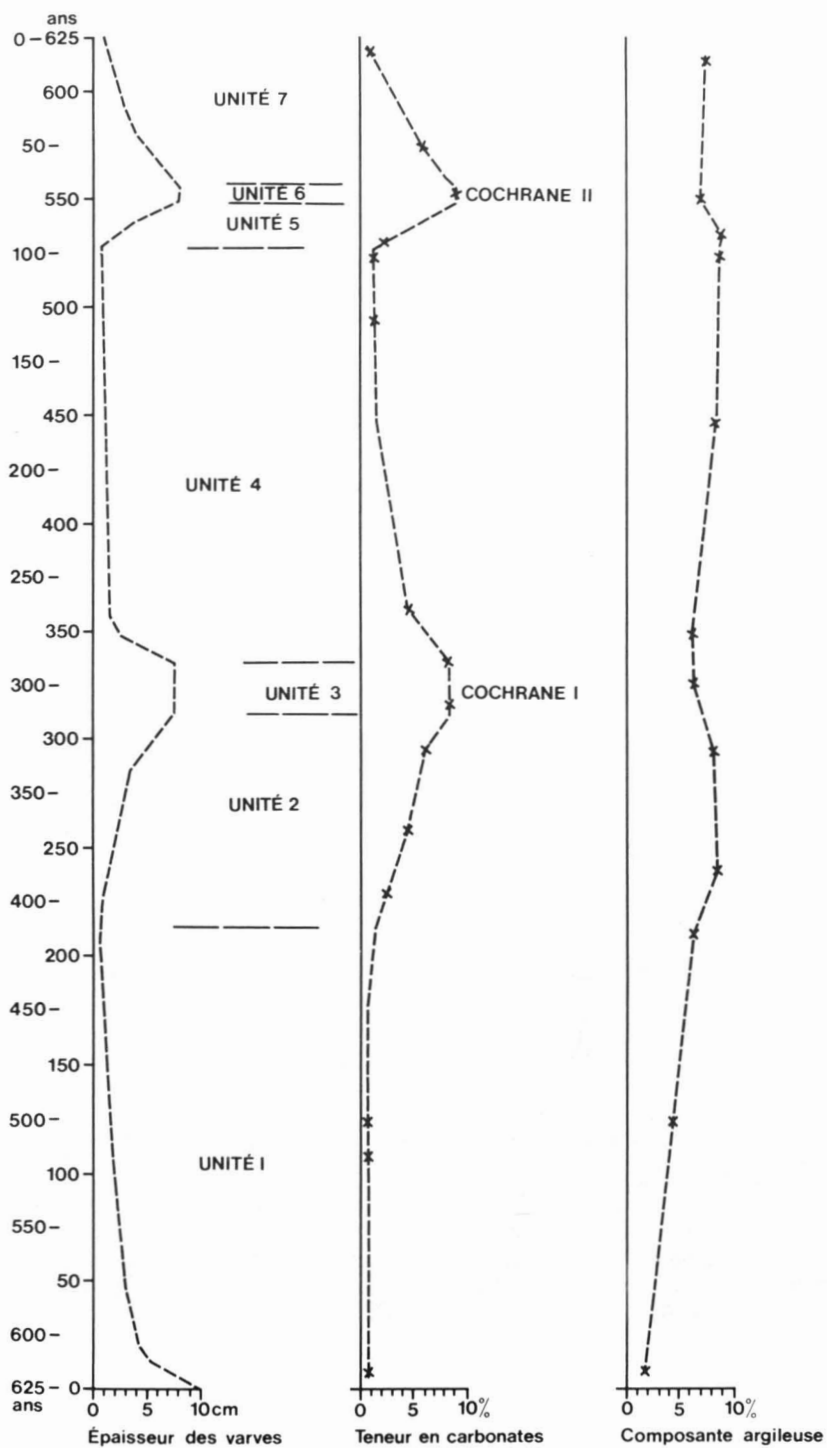


Figure 6. Séquences varvées influencées par les réavancées de Cochrane.

TABLEAU II

Description des séquences varvées dans les falaises  
des lacs Matagami et Soscumica

	<i>Épaisseur moyenne (m)</i>
<b>VARVES ASSOCIÉES AU COCHRANE II</b>	
Unité 7 Amincissement des varves vers le haut. L'épaisseur minimale, sous l'horizon du sol, est de 1,9 cm dont 0,5 cm pour la couche d'été. Diminution de la teneur en carbonates et disparition des nodules de silt calcaire. Nombre de varves : compté : 48, estimé : 20, total : 68.	1,7
6 Varves de 5 cm à 12,7 cm d'épaisseur correspondant au maximum de la réavancée. La couche d'été est faite de nodules de silt calcaire, avec quelques grains de sable et de petits graviers précambriens et paléozoïques; le tout est enrobé dans une matrice d'argile silteuse brune et calcaire. La couche d'hiver est constituée d'argile brun foncé calcaire, avec quelques nodules de silt. La teneur en carbonates varie de 6,7 à 16,9% dans les couches d'été et de 3,8 à 10% dans les couches d'hiver (fig. 7). Nombre de varves : 6.	0,46
5 Les varves s'épaississent brusquement vers le haut, passant de 0,9 à 8 cm en 18 ans et la teneur en carbonates suit la même progression. Nombre de varves : 18.	0,7
<b>TRANSITION</b>	
4 Les varves épaisses de l'unité 3 s'amincissent vers le haut, les nodules de silt disparaissent, la teneur en carbonates diminue à moins de 2%, et la composante argileuse passe de 67% à 87% entre la base et le sommet de l'unité. Nombre de varves : 190.	1,6
<b>VARVES ASSOCIÉES AU COCHRANE I</b>	
3 Varves de 5 cm à 17,5 cm d'épaisseur correspondant au maximum de la réavancée. Elles sont constituées de nodules de silt et d'argile calcaires, avec quelques sables et graviers fins paléozoïques dans une matrice d'argile silteuse calcaire. La teneur moyenne en carbonates est de 12,7% dans la couche d'été et de 5,9% dans la couche d'hiver. Nombre de varves : 24.	1,3
2 Épaississement des varves, augmentation de la teneur en carbonates, et progression de la composante argileuse, associés à un accroissement des apports de sédiments fins en provenance du nord-ouest (glacier d'Hudson). Nombre de varves : environ 100.	1,8
<b>VARVES PRÉ-COCHRANE (influencées par le glacier du Nouveau-Québec)</b>	
1 Silt argileux varvé non calcaire, contenant environ 5% de sable. La composition des couches d'été devient plus argileuse et légèrement calcaire au sommet de l'unité. Nombre de varves : environ 220.	4,5
Épaisseur moyenne de l'ensemble	12,06
<b>TILL GROSSIER DU GLACIER DU NOUVEAU-QUÉBEC</b>	

épaisseur de 20 à 38 cm et leur granulométrie, particulièrement dans les couches d'été, s'apparente à celle du till lui-même (fig. 7). Les dernières varves de l'unité 7 y ont une épaisseur de 4,5 cm.

Au sud et au sud-est du lac Matagami, soit à plus de 50 km des fronts du Cochrane, les varves deviennent plus minces mais les variations verticales dans l'épaisseur des couches et les teneurs en carbonates suivent les mêmes progressions. Le nombre de varves de l'unité 1 varie suivant un axe S.O.-N.E.

Les argiles glacio-lacustres mises en place avant les réavancées de Cochrane, ou pendant la progression du front, se retrouvent localement sous le till associé à ces récurrences. Les argiles varvées postérieures au Cochrane II recouvrent le till dans les terrains qui sont bas ou peu accidentés. L'épaisseur de cette couche argileuse varie de 2 à 5 m et elle est parfois séparée du till par une couche de sable jaune brun, calcaire. Le nombre de varves post-Cochrane II ne semble pas diminuer vers le nord-ouest.

#### *Séquences influencées par la glace du Nouveau-Québec*

L'argile varvée décrite à l'unité 1 du tableau I se poursuit vers le haut, sans interférence des réavancées de Cochrane, à partir de la latitude 51°31' N. (15 km au nord de la rivière Rupert). Les matériaux se retrouvent dans les vallées et localement sur les interfluves entre les rivières Rupert et Eastmain. Ils sont confinés aux vallées plus au nord.

D'une façon générale, les varves sont relativement minces et la composition est grossière en comparaison avec les argiles varvées associées aux récurrences de Cochrane. Les matériaux ne contiennent pas de carbonates. La composante argileuse n'excède pas 20%, le silt représente 70 à 80% et le sable de 2 à 15%. L'épaisseur des varves diminue progressivement vers le haut et ces changements sont liés à l'amincissement des couches d'été qui deviennent plus silteuses.

Le nombre de varves et l'épaisseur de la séquence diminuent rapidement vers l'est

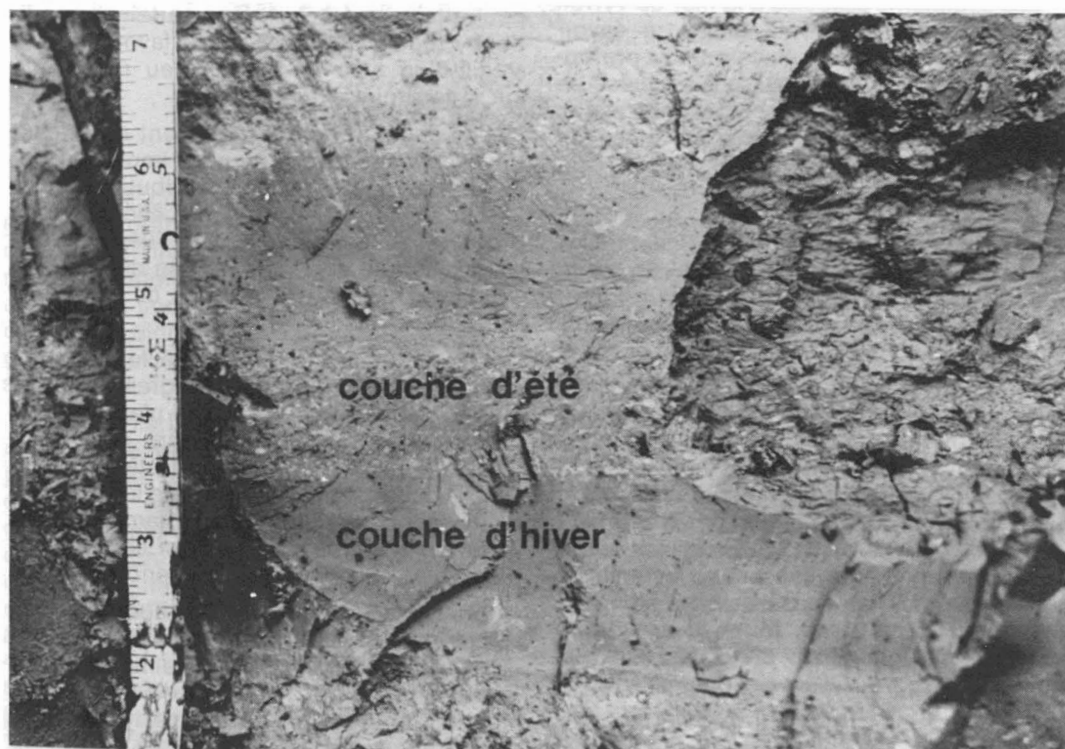


Figure 7. Argile varvée mise en place pendant la réavancée du Cochrane II (unité 6 du tableau II). Lac Matagami.

pour disparaître complètement à l'endroit de la moraine de Sakami.

#### *Horizon de vidange*

Dans les terrains où l'argile marine recouvre les argiles lacustres, ces deux types de dépôt sont séparés par un horizon de transition correspondant à la vidange du lac et à l'incursion des eaux marines. L'horizon de vidange a généralement une épaisseur de 20 à 50 cm et il est constitué, à la base, d'un lit de silt argileux stratifié, sans faune, contenant des graviers arrondis d'argile varvée, surmonté d'une couche de silt argileux très calcaire contenant du sable et des graviers (fig. 8 et 9). La teneur en carbonates de la fraction inférieure à 1 mm atteint 20% et la proportion de graviers paléozoïques, 70%. Les foraminifères apparaissent dans la couche supérieure. La granulométrie des matériaux de l'horizon de vidange est présentée à la figure 10. Cette figure montre également la différence très nette dans la granulométrie des argiles marines et celle des argiles lacustres associées aux récurrences de Cochrane.

#### SÉDIMENTS DE LA MER DE TYRRELL

Les sédiments associés à la mer de Tyrrell se présentent sous trois faciès, à savoir l'argile et le silt mis en place en eau profonde, le silt et le sable silteux mis en place en eau peu profonde (sédiments pré littoraux), et le sable et le gravier mis en place en position littorale.

#### *Sédiments d'eau profonde*

À l'ouest de la moraine de Sakami, les argiles marines sont appuyées tantôt sur le roc, tantôt sur les dépôts glaciaires et tantôt sur les argiles varvées. La granulométrie y est remarquablement homogène sur toute l'épaisseur des accumulations (fig. 10).

À l'emplacement de la moraine et plus à l'est, la couche de base des argiles marines montre souvent, sur une épaisseur de 50 cm à 100 cm, la présence de sable et de petits graviers précambriens marquant le contact du front glaciaire et des eaux marines. Les coquillages présents dans cette couche de base sur la moraine de Sakami ont été datés au radiocarbone et ont fourni des âges de  $7\,750 \pm 180$  (Qu-124) et  $7\,880 \pm 160$  (Qu-122) ans avant l'actuel. Ces dates suggèrent que la mer de Tyrrell a pénétré dans le territoire, il y a environ 7 900 ans.

Au-dessus de cette couche de base, les argiles présentent la même granulométrie

qu'à l'ouest de la moraine de Sakami. Le matériau est gris foncé à gris brun, fossilifère, et les stratifications y sont marquées par de fines lamines de silt et de sable fin. Il contient d'abondantes traces de matières organiques qui sont un trait distinctif très important de l'argile marine. La teneur en carbonates est stable entre 5% et 7%, sauf près des limites orientales de la distribution des argiles où elle diminue à moins de 2%.

L'épaisseur de la couche d'argile marine atteint 22 m sur le pourtour sud-est de la baie. La hauteur des terrasses le long de la rivière Eastmain montre que l'accumulation argileuse y atteint 40 m. Dans la vallée de la Grande Rivière, les mêmes observations indiquent des épaisseurs maximales de 75 m.

#### *Sédiments pré littoraux et littoraux*

Les sédiments pré littoraux ont été formés localement pendant l'émersion du terrain en contrebas des formes en relief qui subissaient l'action de délavage et de transport des agents littoraux. Ils présentent un large éventail de distributions granulométriques allant du sable argileux et graveleux au sable et silt bien triés. L'épaisseur des accumulations est généralement de 1 à 2 m, mais elle peut atteindre 4 à 7 m dans certaines conditions topographiques très favorables. Il s'agit d'un type de dépôts peu représenté sur le territoire.

Les dépôts littoraux occupent cependant un espace relativement plus important. La limite supérieure de leur distribution atteint 290 m sur le versant est, puis elle s'abaisse progressivement vers le sud-ouest où elle n'est plus que de 213 m le long de la rivière Nottaway et 198 m le long de la rivière Harricana.

Les dépôts littoraux ont été formés pendant l'émersion du terrain (régression de la mer de Tyrrell) et leur mise en place marque la fin de cet épisode au cours duquel les transformations du milieu ont été très rapides. Ils occupent donc le haut de la séquence stratigraphique et ils ne sont jamais recouverts par d'autres matériaux si ce n'est par des sables éoliens à quelques endroits.

Les dépôts littoraux constituent le plus souvent une couverture de moins de 1 m d'épaisseur coiffant les drumelins et autres formes profilées constituées de till. Il s'agit alors du délavage *in situ* des particules fines de la couche superficielle du till. Le résidu est un mélange lâche de sable grossier, graviers, cailloux et blocs.

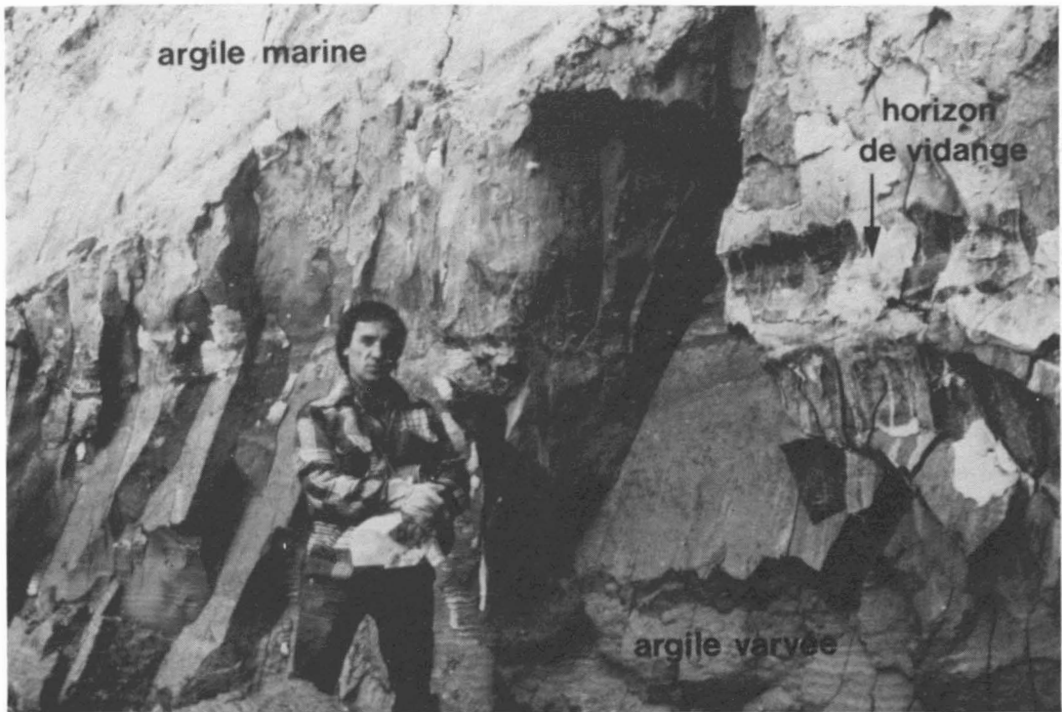


Figure 8. Partie inférieure des accumulations argileuses de la côte sud-est de la baie James, comportant les argiles varvées, l'horizon de vidange et les argiles marines. Rivière Rupert, rive gauche, 4 km de l'embouchure ; même localité que la figure 10.

Dans les conditions topographiques qui étaient favorables à une plus forte action des agents littoraux, l'épaisseur des accumulations littorales atteint 7 m. Les éléments constitutifs sont généralement des graviers, cailloux et blocs dans une matrice de sable grossier. Ces dépôts reposent sur le till ou sur le roc.

Les dépôts littoraux épais sont peu abondants sur le versant sud. Ils atteignent leur plus grande dimension et leur plus forte densité sur le versant est, sur les terrains dont l'altitude est inférieure à 40 m. Cette concentration de dépôts le long de la côte orientale résulte probablement du faible taux d'émersion du terrain depuis environ 4 000 ans, période à laquelle correspondent les 40 derniers mètres de soulèvement. Ce taux d'émersion très ralenti, de l'ordre de 90 cm par 100 ans par rapport à 5,8 m par 100 ans qu'il était antérieurement, aura permis aux agents littoraux d'opérer beaucoup plus longtemps à une altitude donnée.

### Interprétation

La mise en place des différentes unités et leur disposition relèvent d'une série d'événements interdépendants qui se sont succédés depuis la déglaciation. Les caractéristiques des matériaux, leur stratigraphie et leur extension permettent de définir les grandes lignes de ces événements dont la chronologie est résumée à la figure 11.

D'abord, les caractéristiques uniformes du till grossier dans l'ensemble des dépôts suggèrent une mise en place lors d'un seul événement plutôt que lors de mouvements successifs de reculs et de réavancées. L'orientation des formes profilées, qui contiennent la majeure partie du till, est celle de l'écoulement glaciaire pendant la déglaciation. Ce serait donc au cours de cette dernière que le till a été mis en place.

L'arrangement des dépôts glaciaires montre que le glacier qui recouvrait tout le territoire au début de la déglaciation s'est

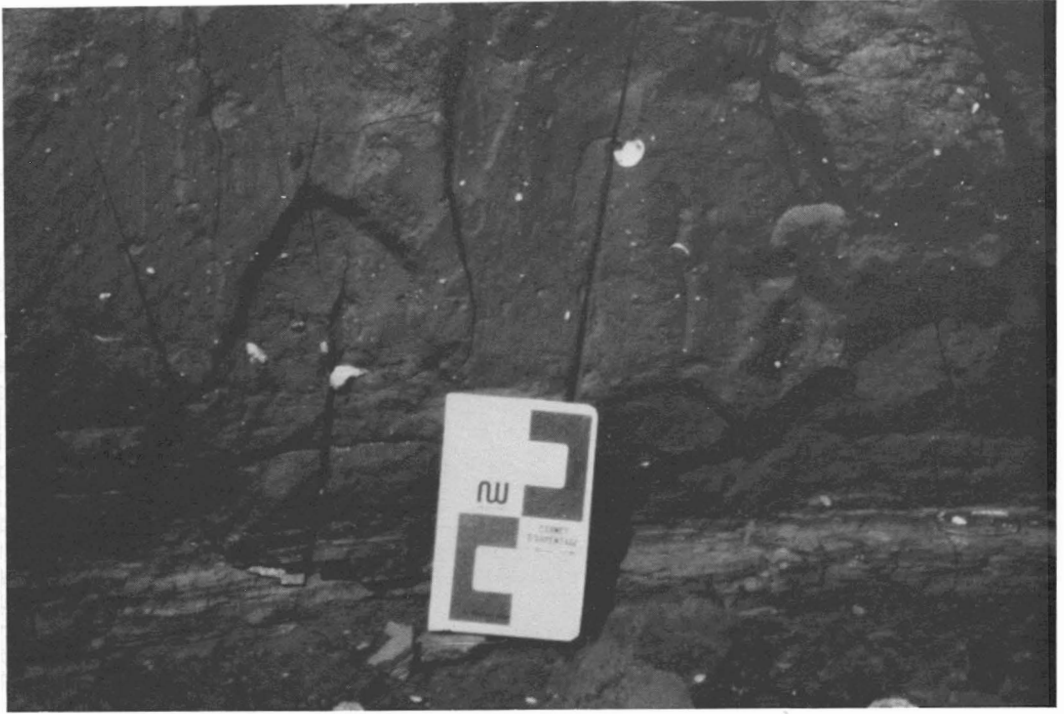


Figure 9. Vue rapprochée de l'horizon de vidange et de la partie inférieure de l'argile marine à noter l'abondance de graviers et l'apparition de coquillages. Même localité que la figure 8.

scindé en deux composantes suivant l'axe de la rivière Harricana. Le glacier du Nouveau-Québec, situé à l'est de la moraine interlobaire d'Harricana, s'est retiré progressivement vers le nord-est et l'est-nord-est. Son recul fut interrompu par de courtes pauses et par un arrêt beaucoup plus prolongé marqué par une importante moraine frontale, appelée moraine de Sakami (Hardy, 1976), qui s'étire entre Poste-de-la-Baleine et le sud-ouest du lac Mistassini.

Comme la distribution des masses glaciaires interdisait l'écoulement des eaux vers le nord, celles-ci ont été retenues dans le lac glaciaire Ojibway qui s'agrandissait progressivement au droit des terrains nouvellement déglaciés. Les séquences d'argile varvée mises en place dans le fond de ce lac ont fourni de précieuses indications sur certaines modalités de la déglaciation. Ainsi, les caractéristiques des varves suggèrent un retrait progressif du front du glacier du Nouveau-Québec sans réavancée perceptible. La différence dans le nombre de varves dans une série de coupes observées le long d'axes parallèles à la direction de retrait du glacier indique un taux annuel moyen de

retrait du front glaciaire de 320 m dans le secteur des lacs Matagami et Soscumica, de 500 m le long de la rivière Eastmain et de 900 m à la latitude de la Grande Rivière.

Le glacier situé à l'ouest de la moraine interlobaire d'Harricana, appelé glacier d'Hudson, s'est retiré vers le nord-ouest sur une distance indéterminée avant de réavancer au moins à deux reprises dans les eaux profondes du lac glaciaire Ojibway et mettre en place le till argileux de Cochrane.

Les caractéristiques du till de Cochrane, sa stratigraphie ainsi que la distribution des marques d'écoulement associées à ces mouvements montrent clairement qu'elles sont le résultat de récurrences d'une glace localement appuyée sur son lit et localement à l'état de plate-forme (« ice-shelf »).

Les données tirées des séquences varvées sont particulièrement concluantes pour déterminer les rythmes de récurrences. Ainsi, pendant la première phase de réavancée, la glace aurait mis environ 100 ans pour franchir une distance de 150 km. Cette valeur représente la distance séparant les limites intérieure et extérieure des marques



d'écoulement attribuées à cette réavancée et correspond à la distance minimum de transport des sédiments calcaires.

La séquence varvée post-Cochrane I montre que l'influence de la glace s'est fait sentir pendant près de 25 ans et est devenue négligeable par la suite. La marge glaciaire se serait retirée rapidement jusqu'à sa position pré-Cochrane ou serait demeurée inactive pendant environ 150 ans suite à un retrait limité.

La séquence varvée associée au Cochrane II présente des caractéristiques identiques sur tout le pourtour sud-est et est de la réavancée, soit sur une distance de plus de 210 km, et traduit un événement rigoureusement synchrone et uniforme. Les 18 varves de l'unité 4 (fig. 6) semblent enregistrer l'ensemble de la réavancée, ce qui implique une progression du front glaciaire de 8,3 km/a. De tels rythmes de progression doivent être interprétés comme des crues glaciaires (« ice-surges »).

Les réavancées de Cochrane ont influencé la sédimentation dans les 400 dernières varves de la séquence stratigraphique. La sédimentation lacustre s'est évidemment interrompue avec la vidange du lac. Dans les basses-terres, la mer de Tyrrell a succédé immédiatement au lac glaciaire, et l'âge radiocarbone d'environ 7 900 ans, obtenu pour le moment de l'invasion marine, cor-

respond également à la vidange du lac. En ajoutant à cet âge le nombre de varves des différentes unités de la figure 6, on déduit que le mouvement du Cochrane I s'est amorcé il y a environ 8 300 ans pour culminer il y a 8 200 ans. Le Cochrane II aurait atteint sa position limite il y a 7 975 ans.

Les quelque 600 varves dans le secteur des lacs Matagami et Soscumica montrent que le retrait du glacier du Nouveau-Québec et le début de l'inondation lacustre s'y sont produits il y a 8 500 ans.

Les caractéristiques des varves telles qu'observées sur l'ensemble de l'aire d'extension lacustre indiquent nettement une sédimentation continue, donc sans vidange intermédiaire ou changement rapide des niveaux. La durée du lac s'est écourtée vers le nord-est, parallèlement à la direction de retrait du front du glacier du Nouveau-Québec. La distribution des sédiments lacustres et le nombre de varves dans les séquences à proximité de la moraine de Sakami indiquent nettement que les eaux lacustres se sont drainées immédiatement avant la construction de cette moraine.

Suite au drainage du lac Ojibway, la mer de Tyrrell a inondé plus ou moins simultanément toute la portion des basses-terres qui étaient libres de glace, c'est-à-dire le territoire à l'ouest de la moraine de Sakami. La couche glacio-marine de base,

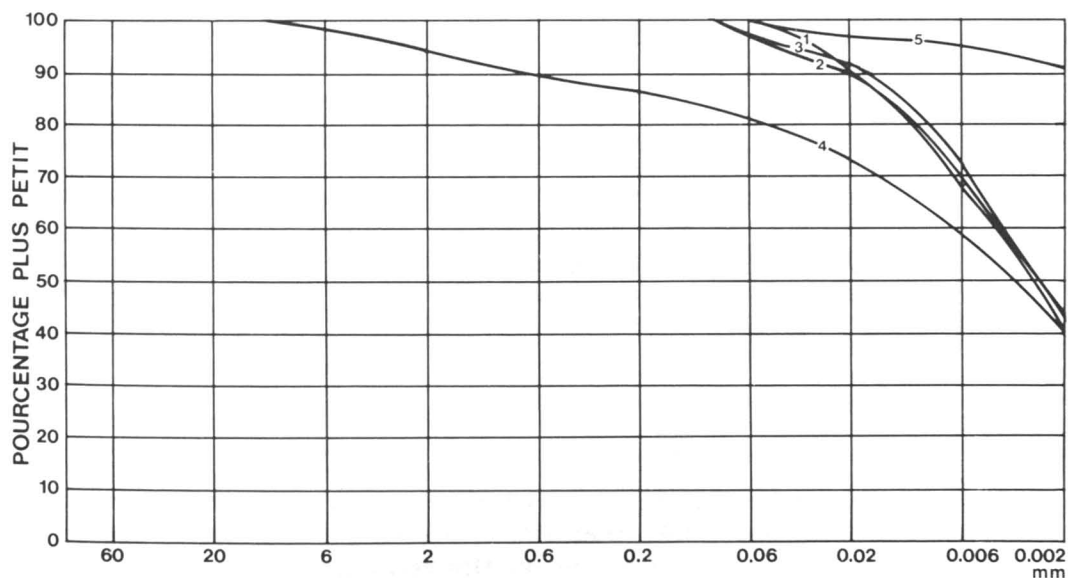


Figure 10. Granulométrie des sédiments argileux près de la côte sud-est de la baie James. Courbes 1 à 3 : argile de la mer de Tyrrell ; courbe 4 : matériaux de l'horizon de vidange ; courbe 5 : argiles du lac Ojibway (Lupien, Rosenberg et Ass. Inc., 1980 ; forage n° TF-PB-153-79).

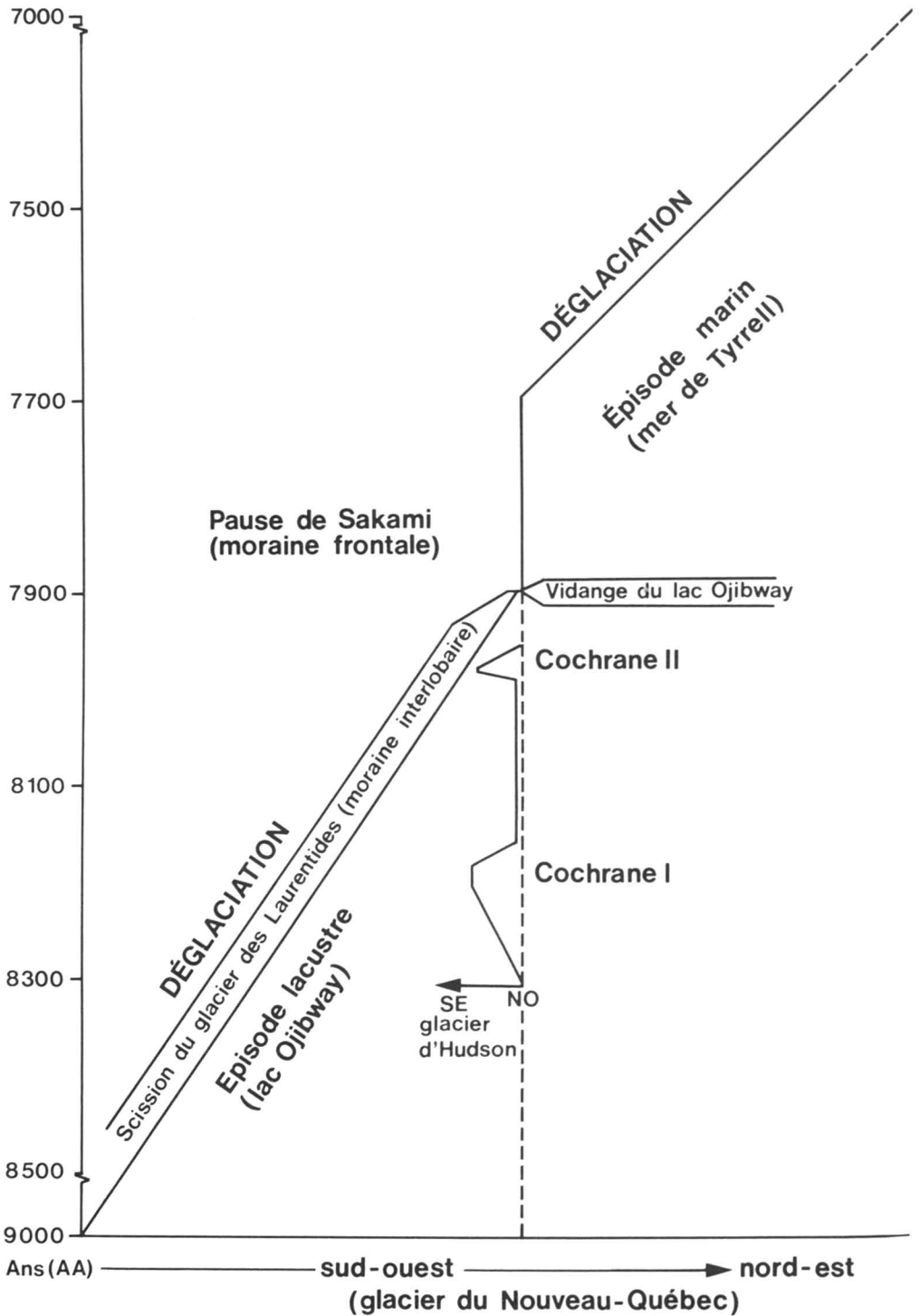


Figure 11. Évolution spatio-temporelle de la déglaciation.

observée à partir de ce long cordon morainique, indique que la mer s'est agrandie par la suite au fur et à mesure du retrait du glacier. Sa limite supérieure a atteint 290 m à proximité de la moraine de Sakami. Le niveau marin maximum s'abaisse vers l'est et il n'est plus que de 246 m dans la partie amont de la Grande Rivière (Vincent, 1977).

L'épisode marin s'est terminé par l'émergence du terrain commandée par un relèvement isostatique qui fut d'abord très rapide, puis qui s'est considérablement ralenti au cours des quatre derniers millénaires. Les nombreuses datations au  $^{14}\text{C}$  obtenues sur des coquillages marins prélevés dans des dépôts littoraux, à différentes altitudes, indiquent une émergence du terrain au rythme de 9 m par siècle au cours des 1 000 premières années de l'épisode marin ; elle aurait été de 5,8 m par siècle pendant les 3 000 ans suivants et se serait abaissée à 90 cm par siècle au cours des quatre derniers millénaires. Le taux actuel de soulèvement serait de l'ordre de 2-3 mm par an sur la côte sud et de 5 mm par an sur la côte est, à la hauteur de la Grande Rivière (Hardy, 1976).

### Discussion

Le versant oriental de la baie James occupe une position clef dans l'interprétation des phénomènes qui ont affecté l'ensemble des basses-terres pendant la déglaciation. La compréhension de ces phénomènes est facilitée notamment par l'existence d'unités lithologiques qui ont fourni des indicateurs pour les principaux mouvements glaciaires, et par la présence de séquences varvées glacio-lacustres et de coquillages marins qui ont permis d'étudier le rythme d'évolution et la chronologie des événements.

L'étude des dépôts glaciaires grossiers révèle un seul mouvement dirigé vers l'ouest et le sud-ouest. L'hypothèse formulée par Lee (1959) à l'effet que des cailloux carbonatés provenant de l'ouest constituent un indice d'anciens mouvements glaciaires dirigés vers l'est n'a jamais été confirmée. Les composantes fines et grossières du till proviennent essentiellement de l'est et du nord-est, alors que les rares cailloux indicateurs carbonatés trouvés à la surface ou à l'intérieur des dépôts littoraux ont de toute évidence été mis en place par les glaces flottantes (Dionne, 1974).

Nous n'avons pu relever aucune indication de mouvements dirigés vers le sud à

partir de la côte sud-est de la baie d'Hudson, c'est-à-dire ce qui aurait dû être le centre géographique du glacier des Laurentides. Les travaux récents basés sur la composition pétrographique des échantillons de till prélevés au sud, à l'ouest et sur le fond de la baie d'Hudson font état de mouvements glaciaires tournés vers le sud-ouest qui auraient vraisemblablement prévalu pendant tout le Wisconsinien (Shilts *et al.*, 1979 ; Shilts, 1982). Leurs résultats montrent que le centre géographique du glacier des Laurentides, vraisemblablement situé sur la baie d'Hudson, n'aurait pas été un centre de dispersion comme tel, mais plutôt une zone de rencontre et de diversion de mouvements glaciaires (Shilts, 1982). Ces conclusions concordent avec les observations réalisées sur le versant est.

Les valeurs de niveau marin maximum de l'ordre de 285 m, reconnues près de la côte sud-est de la baie d'Hudson (lat. 55°55' N., long. 76°45' O. ; Archer, 1968), ont souvent été implicitement reliées à la position d'un centre de dispersion glaciaire situé dans la région (Denton & Hughes, 1981). Les récents relevés de terrain sur le versant est de la baie James montrent que la limite marine se situe entre 275 et 290 m près de la bordure ouest de la moraine de Sakami jusqu'à la latitude de la rivière Rupert (lat. 51°30' N.). Cette disposition des surfaces de soulèvement post-glaciaire maximum invalide le postulat qui relie un centre de dispersion localisé sur la baie d'Hudson et quelques points de soulèvement supérieur à 280 m que l'on croyait propres à cette région. Les valeurs élevées de soulèvement post-glaciaire à l'ouest de la moraine de Sakami ont plutôt été mises en relation avec un recul accéléré de la marge glaciaire à la fin de l'épisode lacustre, et conséquemment une plus forte récupération isostatique à accomplir après la déglaciation.

Les évidences d'ordre stratigraphique de même que les marques d'écoulement indiquent que le glacier des Laurentides s'est scindé suivant un axe qui longe la rivière Harricana et qui se poursuit dans la baie James non loin de la côte est. Cette scission a nécessairement été précédée d'une redistribution des masses de glace, et le développement de dômes glaciaires qui ont commandé les directions d'écoulement pendant toute la durée de la déglaciation (Hardy, 1976 ; Hillaire-Marcel *et al.*, 1980). Dans leur reconstruction schématique des glaciers d'Amérique du Nord, Den-

ton & Hughes (1981) proposent que la redistribution des dômes glaciaires se serait produite entre 14 000 ans et 10 000 ans avant l'actuel, en même temps que se développait un ensellement au droit de la baie d'Hudson. La position du dôme centré sur le Québec a déterminé l'orientation des isolignes de relèvement différentiel telle qu'enregistrée sur les rivages du lac Ojibway (Vincent & Hardy, 1977).

La chronologie relative de la déglaciation, obtenue des séquences varvées, montre que le rebord du glacier du Nouveau-Québec n'a pas été en contact avec la glace du Cochrane et qu'il a poursuivi son recul au cours des réavancées de l'autre glacier. L'hypothèse émise par Dionne (1980) voulant que ces récurrences soient contemporaines de la mise en place de la moraine frontale de Sakami n'y trouve pas ses fondements. En effet, la récurrence du Cochrane II s'est produite 75 ans avant la vidange du lac Ojibway alors que le début de la construction de la moraine, tel qu'indiqué par la régression dans le nombre de varves suivant un axe sud-ouest — nord-est, s'est produit immédiatement après la vidange du lac.

La séquence de Connaught de Hughes (1965) est corrélative des argiles varvées du Cochrane II sur le versant québécois. La récurrence du Cochrane II est donc synchrone sur l'ensemble du territoire chevauché. Sur le versant québécois, les varves correspondant au maximum du Cochrane I se retrouvent à environ 230 varves sous le maximum du Cochrane II. Dans la séquence de Hughes (1965) le maximum du Cochrane II est observé à la varve 2 025, ce qui situerait le Cochrane I aux environs des varves 1 790-1 810 de sa séquence de Frederick House. Hughes (1965) a observé un épaississement entre les varves 1 800 et 1 847, ce qui pourrait effectivement correspondre au Cochrane I.

Certains auteurs ont tenté d'établir des corrélations entre les événements Cochrane et d'autres réavancées ou stades de la déglaciation tels que le Cockburn (Falconer *et al.*, 1965). Les réavancées de Cochrane nous sont apparues comme des phénomènes isolés, régionaux, non liés à un refroidissement climatique et de trop courte durée pour être enregistrés dans les séquences polliniques ou corrélés avec d'autres réavancées. Elles s'inscrivent dans les 400 dernières années de l'épisode lacustre et ont probablement contribué à amincir la glace

à la latitude de la baie d'Hudson qui a cédé, peu de temps après le Cochrane II, pour permettre la vidange du lac.

L'étude des séquences varvées montre une sédimentation lacustre continue, sans la vidange intermédiaire et les changements subits dans la profondeur de l'eau, dont la possibilité avait été soulevée par Antevs (1925), Hughes (1965) et Prest (1970). Le seul horizon de vidange se situe complètement au-dessus des argiles varvées et marque le remplacement des eaux lacustres très profondes par des eaux marines légèrement moins profondes.

### Remerciements

L'auteur remercie Jean-Serge Vincent de la Commission géologique du Canada et Jean-Claude Dionne de l'Université Laval qui ont aimablement corrigé et amélioré le manuscrit.

### Références

- ANTEVS, E., 1925. Retreat of the last ice sheet in eastern Canada. — *Mem. geol. Surv. Can.*, no. 146, 142 p.
- ARCHER, D.R., 1968. The upper marine limit in the Little Whale River area, New Québec. — *Arctic*, 21: 153-160.
- DENTON, G.H. & T.J. HUGHES (eds.), 1981. The last great ice sheets. — John Wiley & Sons, New York, 484 p.
- DIONNE, J.C., 1974. The eastward transport of erratics in James Bay area, Québec. — *Revue Géogr. Montréal*, 28: 453-457.
- DIONNE, J.C., 1978a. Le glacier en Jamésie et en Hudsonie, Québec subarctique. — *Géogr. phys. Quat.*, 32: 3-70.
- DIONNE, J.C., 1978b. Les champs de blocs en Jamésie, Québec subarctique. — *Géogr. phys. Quat.*, 32: 119-144.
- DIONNE, J.C., 1978c. Formes et phénomènes périglaciaires en Jamésie, Québec subarctique. — *Géogr. phys. Quat.*, 32: 187-247.
- DIONNE, J.C., 1980. An outline of the eastern James Bay coastal environments. — Pages 311-338 in S.B. McCann (ed.). *The coastline of Canada*. *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 80-10, 439 p.
- FALCONER, G., J.D. YVES, O.H. LÖKEN & J.T. ANDREWS, 1965. Major end moraines in eastern and central Arctic Canada. — *Bull. Geogr. Br. Dept. Mines Techn. Surv. Can.*, 2: 137-153.
- HARDY, L., 1976. Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses-terres de la baie de James. — Thèse de Ph.D., Univ. McGill, Montréal, 264 p.

- HARDY, L., 1977. La déglaciation et les épisodes lacustre et marin sur le versant québécois des basses-terres de la baie de James. — *Géogr. phys. Quat.*, 31 : 261-273.
- HARDY, L., 1980. Étude de l'impact de l'aménagement du complexe NBR sur la stabilité des berges des rivières Nottaway, Broadback et Rupert. Étude régionale. — Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James. Direction de l'Environnement, Montréal, 151 p.
- HILLAIRE-MARCEL, C., D.R. GRANT & J.S. VINCENT, 1980. Comment and reply on "Keewatin ice sheet re-evaluation of the traditional concept of the Laurentide ice sheet" and "Glacial erosion and ice sheet divides, north-eastern Laurentide ice sheet, on the basis of the distribution of limestone erratics". — *Geology*, 8 : 466-467.
- HUGHES, O.L., 1965. Surficial geology of part of the Cochrane District, Ontario. — Pages 535-565 in H.E. Wright Jr. & D.G. Frey (eds.). *International studies on the Quaternary*. Geol. Soc. Am., Sp. Paper no. 84.
- LABORATOIRE D'INSPECTION ET D'ESSAIS INC., 1978. Étude des berges : 1978, complexe NBR. — Société d'Énergie de la Baie James, Service géologie et mécanique des sols, Montréal, 63 p.
- LEE, H.A., 1959. Eastward transport of glacial erratics from Hudson Bay. — *Bull. geol. Soc. Am.*, 70 : 219-222.
- LEE, H.A., E. EADE & W.W. HEYWOOD, 1960. Surficial geology, Sakami Lake (Fort-George-Great Whale area), New Québec. — *Geol. Surv. Can.*, Map 52-1959.
- LUPIEN, ROSENBERG ET ASS. INC., 1980. Étude de l'impact de l'aménagement du complexe NBR sur la stabilité des berges des rivières Nottaway, Broadback et Rupert. Études ponctuelles. — Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, Service géologie et mécanique des sols, Montréal, Tome II, Appendice III ; résultats des forages.
- PREST, V.K., 1970. Quaternary geology of Canada. — Pages 677-764 in R.D.W. Douglas (ed.). *Geology and economic minerals of Canada*. Geol. Surv. Can., Econ. Geol., Rep. no. 1, 838 p.
- SHILTS, W.W., 1982. Quaternary evolution of the Hudson/James Bay region. — *Naturaliste can.*, 109 : 309-332.
- SHILTS, W.W., C.M. CUNNINGHAM & C.A. KASZYCKI, 1979. Keewatin ice-sheet, re-evaluation of the traditional concept of Laurentide ice sheet. — *Geol. Soc. Am., Geology*, 7 : 537-541.
- SKINNER, R.G., 1973. Quaternary stratigraphy of the Moose River basin, Ontario. — *Bull. geol. Surv. Can.*, no. 225, 70 p.
- STUIVER, M., E.S. DEEVEY, Jr. & I. ROUSE, 1963. Yale natural radiocarbon measurements. — *Radiocarbon*, 5 : 312-341.
- TYRRELL, J.B., 1898. The glaciation of north-central Canada. — *J. Geol.*, 6 : 147-160.
- VINCENT, J.S., 1973. Géologie du Quaternaire : cartes 33E/10 (Rivière à la Truite), 33E/11 (Anse Aquatuc), 33E/14 (Stromness Island) et 33E/15 (Fort-George). — *Comm. géol. Canada*, Dossier public n° 178.
- VINCENT, J.S., 1974. Géologie du Quaternaire : cartes 33E/19 (Rivière Achazi), 33E/16, 33F/12 (Lac Vion) et 33F/13 (Lac Awachina). — *Comm. géol. Canada*, Dossier public n° 198.
- VINCENT, J.S., 1975. Géologie du Quaternaire : cartes 33F/10 (Rivière Sakami), 33F/11 (Alder Lake), 33F/14 (Lac Bréhan) et 33F/15 (Lac Carbillet). — *Comm. géol. Canada*, Dossier public n° 267.
- VINCENT, J.S., 1977. Le Quaternaire récent de la région du cours inférieur de La Grande Rivière, Québec. — *Comm. géol. Canada*. Étude n° 76-19, 20 p.
- VINCENT, J.S. & L. HARDY, 1977. L'évolution et l'extension des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. — *Géogr. phys. Quat.*, 31 : 357-372.



## SEDIMENTATION IN JAMES BAY

K. KRANCK

*Atlantic Oceanographic Laboratory  
Bedford Institute of Oceanography, P.O. Box 1006  
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2*

and

A. RUFFMAN

*Geomarine Associates Ltd., P.O. Box 41  
Station M, Halifax, Nova Scotia B3J 2L4*

### Résumé

On étudie dans ce travail la sédimentation des particules dans la baie James à partir de données publiées et non-publiées. Les rivières contribuent par un apport de  $4,12 \times 10^7$  tonnes de sédiments par année. Une grande partie de ces sédiments sont déposés tout près des côtes, mais l'argile et le limon sont transportés au large et forment des dépôts vaseux uniformes au fond de la Baie. Les concentrations de sédiments en suspension sont élevées, de l'ordre de 1 à 100 mg/l. Elles sont plus élevées au sud de la Baie, diminuent lorsque l'on progresse vers le nord, puis chutent subitement près de la baie d'Hudson. Un tourbillon cyclonique transporte les sédiments vers l'embouchure de la baie James.

### Abstract

The sedimentary regime of James Bay is examined on the basis of published and unpublished data. Rivers are estimated to bring  $4.12 \times 10^7$  tons per year of sediment to the bay. A large portion of this is deposited near shore but silt and clay transported offshore have formed a nearly continuous mud deposit over the bay bottom. Suspended sediment levels in the bay are relatively high, estimated to range from 1 to 100 mg/l. Concentrations decrease from the head of the bay northward, and at the boundary with Hudson Bay decrease sharply. A counterclockwise current circulation transports sediment towards the northeastern entrance of the bay.

### Introduction

James Bay lies at the centre of a continent and receives a large input of fresh water (13% of the total river discharge from Canadian drainage basins). In spite of this, it is the only major body of water in Canada in which no systematic overall sedimentological work has been done. There are, therefore, many unanswered questions of theoretical and practical importance, such as: is the sedimentological regime of James Bay similar to that of Hudson Bay (a shelf-like inland sea)? Is it typical of a restricted coastal bay, or is it estuarine in nature? What effects do the rapid isostatic rebound of its shores and the resulting decrease in water depth have on the bay as an environ-

ment? Perhaps most important of all: how will the present sedimentological conditions change as a result of hydropower development? What will be the long term effects on sediment-related factors such as water clarity, sedimentation rates, nutrient recycling and biological production?

Past and present studies of James Bay in disciplines other than sedimentology, which are relevant to sediment work, are covered by other papers in this volume and are not referred to in this paper. There have been sediment studies recently carried out in certain localized points of the system (Skinner, 1968; d'Anglejan, 1980; Martini, 1981; Martini *et al.*, 1980), which are relevant to the total pattern. What we have done is

to bring together the available material concerning suspended and bottom sediments in James Bay. Much of these data were originally collected by Meagher *et al.*, (1976) and their report contains a complete bibliography on James Bay up until 1976.

### Physical setting

James Bay is a U-shaped bay at the southern end of Hudson Bay. The land on the western side is underlain by Palaeozoic rock of the Hudson Bay lowland which forms "a low swampy marshy plain with subdued glacial features and a belt of raised beaches" (Bostock, 1969). The regular coastline, formed of tidal flats and beach ridges, is broken only by river mouths with poorly developed estuaries. The eastern coast is underlain by Archean rock and has a broken indented coastline with numerous small bays and islands typical of low lying coasts of Precambrian shield outcrops. The land areas around the bay are covered by extensive deposits of Pleistocene tills and younger freshwater and marine clays. Akimiski Island, the largest in the bay, is an outstanding feature, separated from the west coast by a narrow and shallow strait (Grinham, 1981).

The bathymetry also reflects the underlying geology (Fig. 1). A shallow, flat shelf forming the western part of the bay is separated from the deeper, northeastern region by a central shallow region, or central high, that includes the North and South Twin Islands. The smooth western portion of James Bay is floored by Palaeozoic bedrock and east of the central high the Precambrian underlain terrain is rugged and uneven. Echograms from hydrographic surveys (Meagher *et al.*, 1976) show up to 10 m continuous thickness of soft sediment in the western portion of the bay but in the eastern portion the sediment may be over 50 m thick and unevenly fills depressions and drapes elevations of the underlying hard bottom. Echograms from some of the shallow areas in James Bay (less than 20 m) show small scale topographic serrations believed to be formed by ice scouring by pressure ridge keels (Fig. 1).

A feature of significance with respect to the sediment regime is the two-layer density stratification caused by the freshwater inflow. As described by Barber (1972) and Prinsenbergh (1978), James Bay has an

estuarine circulation, with an inflow from the north of deep salt water from Hudson Bay which mixes with the fresher water from the rivers. The general circulation is cyclonic; an inflow from Hudson Bay in the western portion of the bay and an outflow along the Québec side. The data show that the inflow involves both deep, denser water and relatively fresh water at the surface rounding Cape Henrietta Maria, presumably from the large rivers along the southwestern coast of Hudson Bay, including the Churchill and the Nelson rivers. Bottom current speeds in James Bay, as in Hudson Bay, are fairly low but currents in the surface outflow, restricted to a depth of 20 m, reach speeds up to 20 cm/s (Prinsenbergh, 1978). Wave action, especially from the north, is probably a significant force in the coastal zone and in shallow water, but the bay in general is a low energy environment.

### Sediment input

The rivers flowing into James Bay have an average water discharge of  $10 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  (Prinsenbergh, 1977). Scattered sediment discharge data are available from some of the western rivers (Water Survey of Canada, 1980) and sediment discharge rating curves have been calculated for a few eastern rivers (Aubin *et al.*, 1976; O. Caron, Société d'Énergie de la Baie James, pers. comm.) but the data for the bay as a whole are insufficient for the exact determination of the total sediment supply. A rough estimate is derived here from suspended sediment concentrations published by Stichlin (1974), based on generalized relationships between sediment load, flow characteristics and physiographic variables. The average of Stichlin's yearly concentration ranges, multiplied by Prinsenbergh's data for the average water discharge rate of individual rivers results in a sediment load of  $4.12 \times 10^7$  metric tons per year (pre-hydropower regulation). This rough value may be low. O. Caron (Société d'Énergie de la Baie James, pers. comm.) gives  $1.992 \times 10^6$  tons/year as the combined load of the three rivers, Nottaway, Broadback and Rupert River entering Rupert Bay, whereas we estimated  $0.43 \times 10^5$  tons per year.

Of our estimated  $4.12 \times 10^7$  metric tons per year for James Bay, 66% is derived from rivers on the western side and 34% from the eastern Precambrian terrain. It is noteworthy that, although James Bay receives



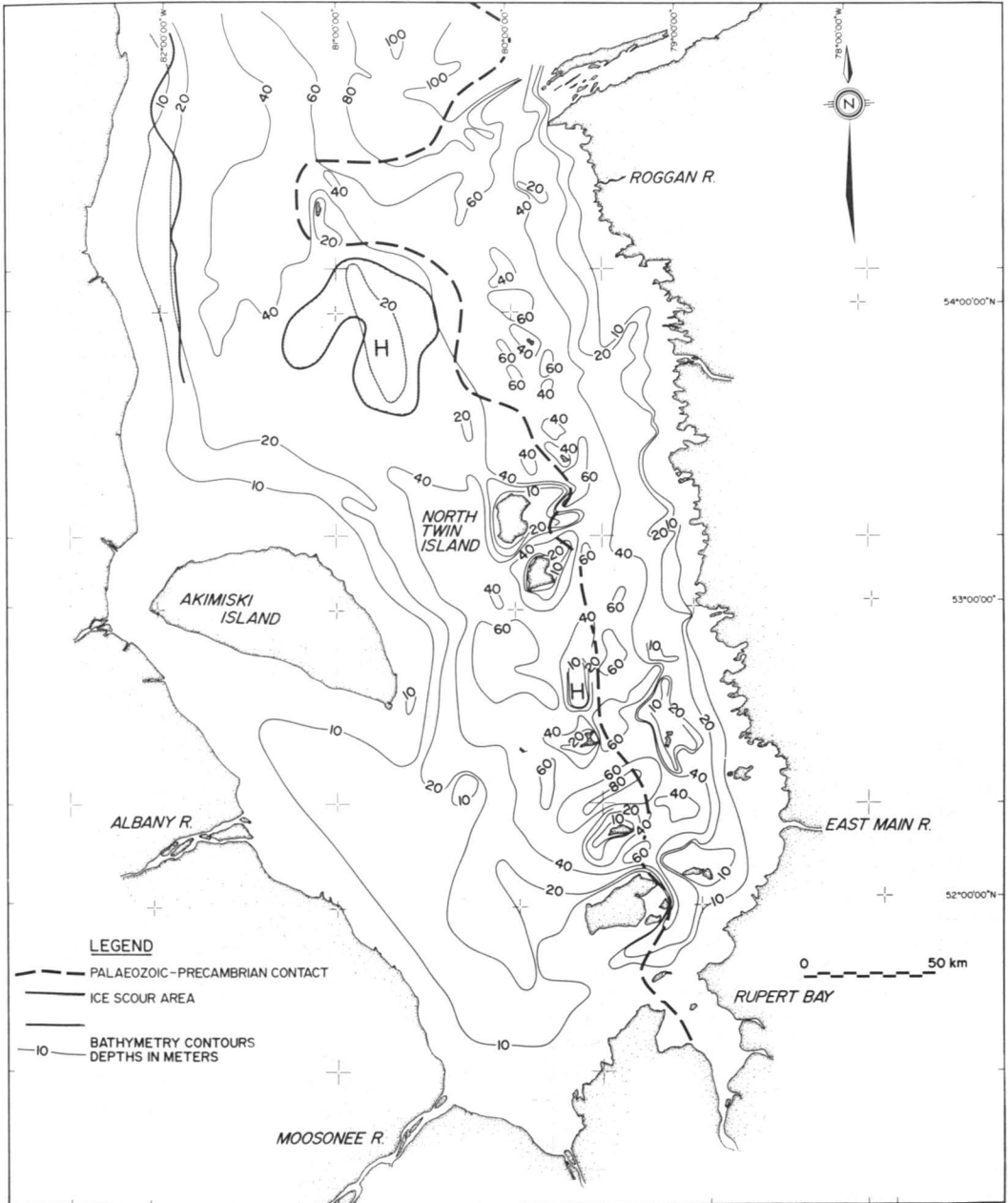


Figure 1. Bathymetry and geomorphological boundaries. Depth contours based on Canadian Hydrographic Service Field Sheet no. 3849. Geomorphological boundaries and ice scouring data based on interpretation of Kelvin Hughes 26B echogram records.

only 44% of the water from the combined Hudson and James Bay drainage basin, the James Bay drainage area contributes 63% of the combined sediment load. This load, distributed evenly over the whole bay, would form a 0.33 mm layer per year. The large size of this sediment load can be appreciated

by noting that it equals about one-half of the total load carried by all Canadian rivers emptying into the Atlantic Ocean, including the St. Lawrence; or that it amounts to 3% of the load carried by the Yellow River, the highest sediment load in the world (Wang, 1980).

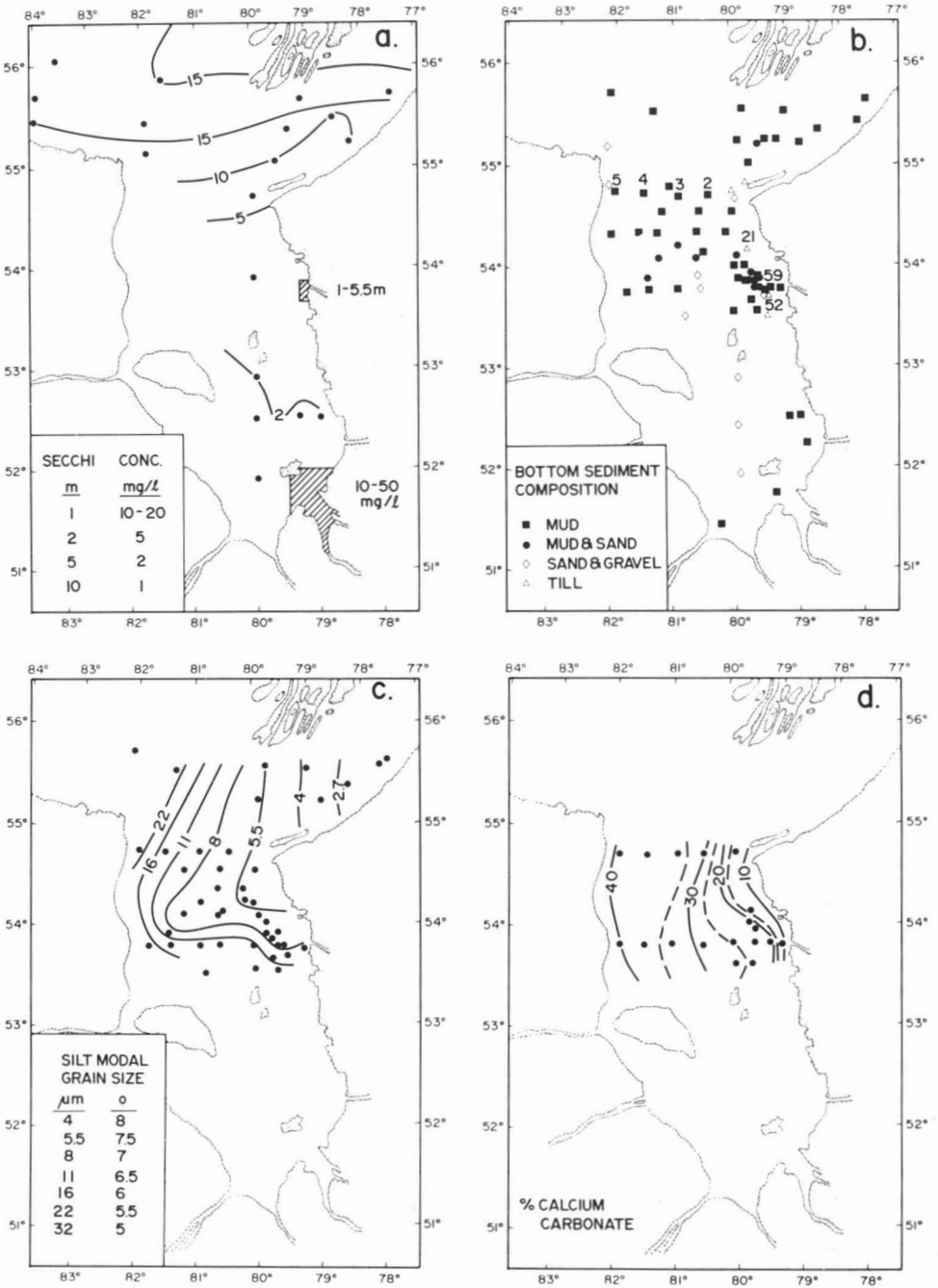


Figure 2. a. Turbidity levels in the surface water. Contours show Secchi disk depths in metres. See text for sources of information. b. Gross textural composition of bottom sediment samples collected in James Bay. Based partly on rough visual descriptions. c. Modal size of silt fraction in bottom sediment samples. d. Calcium carbonate composition of the fine-fraction (less than 63 μm) of James Bay surficial sediment samples.

### Suspended sediment

No samples have ever been collected in the open water of James Bay for the purposes of determining the nature and concentration of suspended sediment. The only information we have on the turbidity levels within the bay is what can be surmised from a few Secchi disk depths measured in the open water and a few detailed studies of sedimentation in nearshore environments (Fig. 2a).

In Rupert Bay, d'Anglejan (1980) measured suspended sediment concentrations ranging from 11 to 129 mg/l. Similar values were reported by Legendre & Simard (1978), whose data show values averaging 28.2 mg/l in the region immediately outside Rupert Bay (Fig. 2a). Neither Skinner (1968), working in the La Grande River estuary, nor Langford (1963), in the Moose River area made any suspended sediment measurements, nor have we been able to find any other suspended particulate matter (SPM) measurements from James Bay. Some Secchi disk depths have been reported from the region off the La Grande River (Grainger & McSween, 1976; Dadswell, 1974) which, together with the miscellaneous Secchi disk depths brought together by Barber (1972), complete the available *in situ* observations on suspended sediments in James Bay (Fig. 2a).

Secchi disk depth measurements can be made quickly and cheaply and it is a pity that more stations occupied for physical and biological purposes did not include Secchi determinations. Postma (1961), Jones & Willis (1956) and others have shown that for any one water type, a relationship exists between Secchi disk depths and SPM. In James Bay, Secchi values range from 1.2 m at the head of the bay to more than 10 m at the mouth, with a sharp increase in Hudson Bay. A similar range of values is recorded from Plymouth Bay in the west of England (Jones & Willis, 1956), and the empirical relationship established there between Secchi disk readings and turbidity indicates concentrations of the order of 1 to 10 mg/l, with values of about 3 to 5 mg/l prevailing in the central eastern portion of James Bay. These values are relatively low in comparison with large river estuaries but high in comparison with nearshore open shelf areas. No data are available from the western part of James Bay (Fig. 2a).

The satellite image mosaic of James Bay shown in Figure 3 indicates that the water around Akimiski Island and north from there along the west coast to Cape Henrietta Maria, and in the region of Prince Rupert Island, contains higher SPM loads than the rest of the bay. These are the regions that receive (1) water from the western rivers and southern rivers with high sediment load and (2) water entering from the southwestern Hudson Bay, also a region of sediment-rich rivers. It is also noteworthy that the turbid water occurs in the shallowest parts (Fig. 1). A third possible source for this turbid coastal water is suspension from the bottom by wave action.

### Bottom sediments

Over 130 bottom samples have been collected in James Bay but all of them have been collected on an "opportunity" basis in conjunction with other marine studies; often studies in which seasonal changes were important to record, as in physical or biological oceanographic work. This has resulted in a sampling pattern both spotty and redundant; stations occupied several times have produced several bottom samples from the same stations, while large areas on the sediment map are left blank. For example, in a line of stations across the mouth of James Bay, established on the Theta cruise in 1961, bottom sediment was sampled four times per station. The usefulness of many samples is also restricted by the limited information accompanying the samples; notations such as "mud, sand, gravel" do not give the sedimentologist much to go on in compiling a regional distribution. Grain-size spectra based on sieve, sedigraph and Coulter counter analyses are available for about 50 samples from the northern part of the bay (Meagher *et al.*, 1976; Duncan, 1981). All samples taken in the southeast of the bay have only visual descriptions attached to them, while in the southwestern, shallowest part, no samples have been collected at all.

Fine mud is the most commonly found sediment type in the bay. The mud samples frequently contain small amounts of sand and gravel and, in a few samples, coarse sediment dominates, with very little mud present. Figure 2b shows the gross composition at all sampled stations. Mud bottom occurs over most of the bay; sediment dominated by sand and gravel is found only

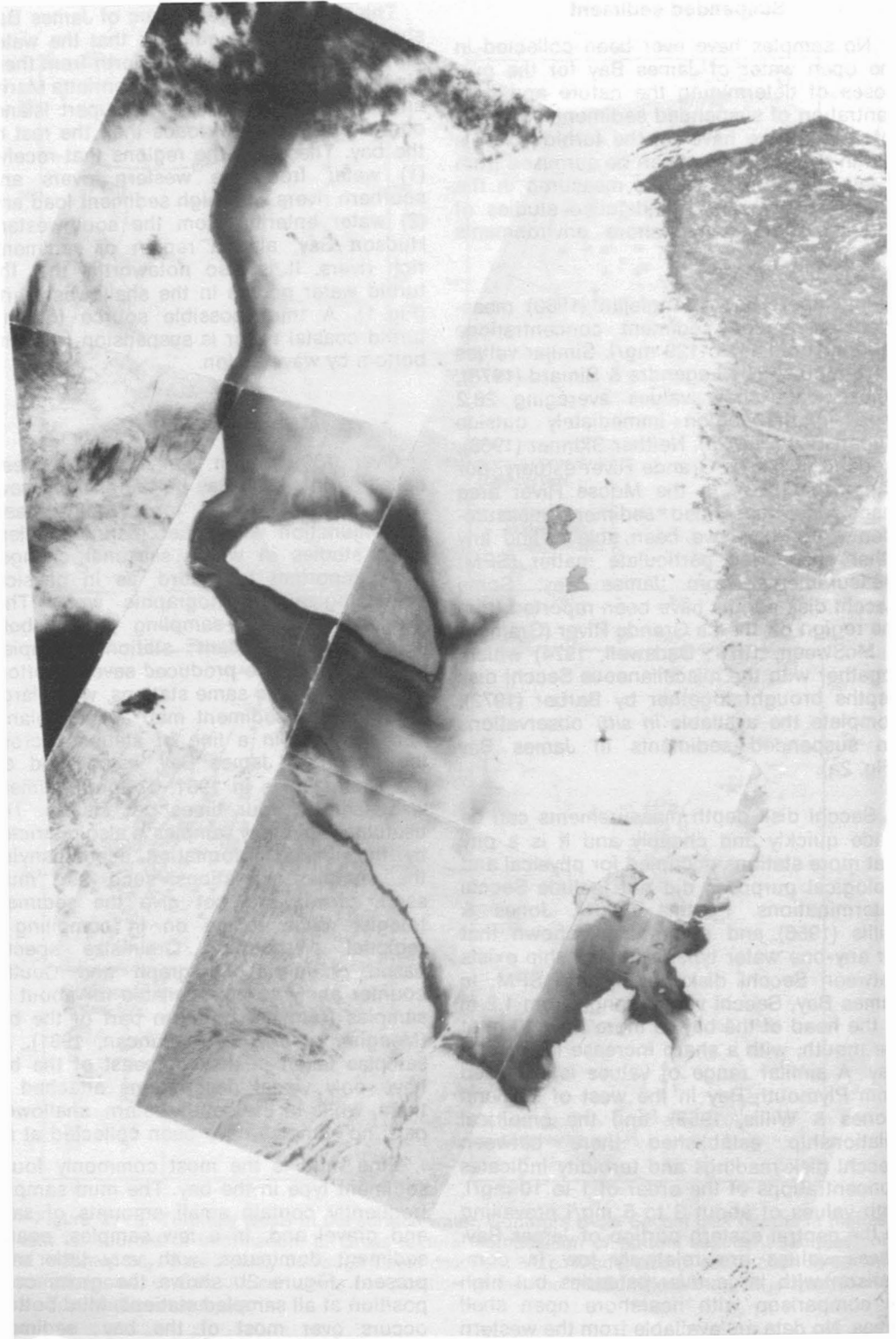


Figure 3. Satellite image mosaic of 70 mm Landsat (ERTS) images printed as contacts and spliced. Sediment rich water corresponds to dark areas around the western and southern coasts.

in the vicinity of the central high and along the eastern shore.

Grain size spectra (Fig. 4) show the mud generally to consist of a well defined modal portion, consisting of silt and a clay "tail" of finer material. These spectra are similar to those commonly found in other near-shore areas (Kranck, 1979) and are formed by the settling out of suspension of flocculated material. In the northern part of the bay, where enough samples have been analyzed to allow the contouring of the silt fraction, modal sizes show a clear pattern of decrease from west to east and a less well-developed decrease northeastward (Fig. 2c). This pattern is in accord with a general eastward and northward dispersal of sediment from the western shore under the influence of the cyclonic circulation.

Some of the coarser sediment in the bay occurs as an irregular secondary mode (the mud forming the primary mode) and is probably ice-rafted material (Fig. 4). A few of the samples have typical till spectra with all grain sizes represented. In general, the sediment data are insufficient to allow determination of the exact nature and origin of the gravel sediment, although the irregular topography of the bottom where it occurs, indicates that it is probably glacial material not yet blanketed by modern mud.

The gravel contains a variety of rock types mainly of shield origin, but including abundant pebbles of carbonate sediment. The calcium carbonate content in the less than  $63 \mu\text{m}$  fraction shows a regular decrease from 40% along the western shore to less than 10% along the eastern shore (Fig. 2d). Most of this material must originate from the Palaeozoic carbonate rock underlying the drainage basin of the western half of the bay, where one finds the only major carbonate bearing rocks in the area. The contours of Figure 2d again reflect the cyclonic circulation.

### Discussion and conclusion

The very scant available data on sediments in James Bay present a picture of a very active system in which large amounts of fine sediment are redistributed within a relatively small and confined body of water. James Bay may be interpreted as a sediment sump for the centre of the continent. The sediment in rivers flowing into James Bay is augmented by sediment entering

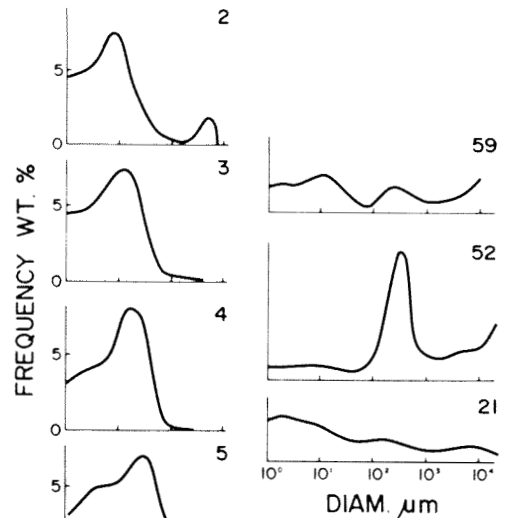


Figure 4. Bottom sediment grain size spectra. Samples 2-5, mud; 21, till; 59 mud and sand; and 52, sand and gravel.

past Cape Henrietta Maria from Hudson Bay. A further sediment supply to the off-shore marine area is provided by the re-working of nearshore bottom deposits due to isostatic rebound of the land. Present sedimentation rates may be closer to the average post-Pleistocene rate of 1.25 mm per year indicated by the 10 m of soft sediment deposited since glacial withdrawal 8,000 years ago (Craig, 1969) than to the 0.3 mm per year rate estimated from river inflow.

Studies of nearshore sedimentary regimes show that, as would be expected, much of the sediment is deposited in the nearshore zone. Skinner (1968) estimated that  $4 \times 10^6$  tons of sediment are deposited in the La Grande River delta in one year, which amounts to a large proportion of the  $7.11 \times 10^6$  tons we estimated for this river's annual load, and Martini (1981) and Martini *et al.*, (1980) have described extensive deposits of sand ridges and mud flats along the western shores. D'Anglejan (1980), however, found that river sediment deposited in the outer regions of Rupert Bay during the winter was swept away by spring freshets. A zone of minimum deposition may occur between the nearshore deltaic and tidal flat deposits and the deep water mud blanket. This is confirmed in the gravel sediment near the eastern shore (Fig. 2b) and possibly in the band of wave-suspended sediment rimming the west, south and southeast coast (Fig. 3).

Fine sediment which reaches the offshore may be expected to circulate cyclonically round the bay, carried by the current. The pattern of silt modes in the bottom sediments indicates that the bay as a whole functions as a single system (Figs. 2c, 2d). Glacially-produced sediment may be expected to contain a wide range of grain sizes (Fig. 4, sample 21) and the distinctive spectra of the offshore mud (Fig. 4, samples 2-5) must be formed by progressive settling of the largest size fractions in suspension together with a tail of co-flocculated finer sediment (Kranck, 1975). The relatively high turbidity values in the bay confirm that appreciable amounts of sediment are being transported in the fresher surface water. Prinsenbergh (1978) describes the northern portion of James Bay as a stratified fjord and it is unlikely that any entrainment of bottom sediment occurs except, possibly, in the nearshore areas. Relatively high water movement in the surface layer, however, is required to retain the sediment in suspension during transport from the western side, the principal sediment source in the bay. If 40% calcium carbonate in the bottom sediment is assumed to be normal for sediment derived from the land west of the bay, the 10%  $\text{CaCO}_3$  content in the sediment along the eastern side indicates that roughly one quarter of the sediment being deposited on the eastern side originates from the opposite side. When the water leaves James Bay, some silt particles smaller than  $7.5 \mu\text{m}$  are still in suspension and provide a sediment source to Hudson Bay, as suggested by Leslie (1963).

### Acknowledgments

Sue Hill re-contoured the bathymetry of Figure 1, adding data that was unavailable to Meagher *et al.* (1976). We thank Sue Crowley for typing the manuscript and Francis Kelly and B. Walker for drafting of the illustrations. The manuscript was critically reviewed by D. Bezanson, T. Milligan and J. Sivitski of the Bedford Institute of Oceanography. Calcium carbonate analyses were performed by D.H. Loring.

We also gratefully acknowledge the many individuals who assisted in the collection of field data we have used and who have provided us with published and unpublished information.

### References

- AUBIN, L., O. CARON & T. TRAN VAN, 1976. Hydrologie et sédimentologie du territoire de la baie

James. — Pages 431-444 in *Environnement, Baie James Symposium 1976: compte rendu, 19-20 mai 1976*. Montréal, Environment Canada, Société de Développement de la Baie James et Société d'Énergie de la Baie James, 883 p.

BARBER, F.G., 1972. On the oceanography of James Bay. — Pages 1-96 in *James Bay*. Can. Dept. Envir., Mar. Sci. Br., Manuscript Rept. Ser., no. 24, 96 p.

BOSTOCK, H.H., 1969. Precambrian sedimentary rocks of the Hudson Bay lowlands. — Pages 206-214 in P.J. Hood (ed.), *Earth science symposium on Hudson Bay*. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 386 p.

CRAIG, B.C., 1969. Late glacial and post-glacial history of the Hudson Bay region. — Pages 63-77 in P.J. Hood (ed.), *Earth science symposium on Hudson Bay*. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 386 p.

DADSWELL, M.J., 1974. A physical and biological survey of La Grande River estuary, James Bay, Québec. — *Can. Fid Nat.*, 88: 477-480.

D'ANGLEJAN, B., 1980. Effects of seasonal changes on the sedimentary regime of a subarctic estuary, Rupert Bay (Canada). — *Sedimentary Geol.*, 2: 51-68.

DUNCAN, G.A., 1981. Position locations of sediment samples collected in Hudson Bay. — *Hydraulics Division Technical Note*, Rep. no. 81-10.

GRAINGER, E.H. & S. McSWEEN, 1976. Marine zooplankton and some physical-chemical features of James Bay related to La Grande hydroelectric development. — *Fish. mar. Serv., Tech. Rep.*, no. 650, 94 p.

GRINHAM, D.F., 1981. Hydrology and sediment dispersal in the emergent Akimiski Strait, James Bay. — M.Sc. thesis, University of Guelph, Dept. of Land Resources, 178 p.

JONES, D. & M.S. WILLIS, 1956. The attenuation of light in sea and estuary waters in relation to the concentration of suspended solid matter. — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 35: 431-444.

KRANCK, K., 1975. Sediment deposition from flocculated suspensions. — *Sedimentology*, 22: 111-123.

KRANCK, K., 1979. Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary. — *Naturaliste can.*, 106: 163-173.

LANGFORD, C.H., 1963. Moose River and approaches. Survey of tides, currents, density and silt. — *Can. Hydrog. Serv., Mar. Sci. Br., Dept. Mines, Tech. Surv.*, 94 p.

LEGENDRE, L. & Y. SIMARD, 1978. Dynamique estivale du phytoplancton dans l'estuaire de la baie de Rupert (Baie de James). — *Naturaliste can.*, 105: 243-258.

- LESLIE, R.J., 1963. Sedimentology of Hudson Bay, District of Keewatin. — Bedford Inst. Ocean., Rep. B.I.O., no. 63-4, 20 p.
- MARTINI, I.P., 1981. Morphology and sediments of the emergent Ontario coast of James Bay, Canada. — *Geogr. Annlr*, 63A: 81-94.
- MARTINI, I.P., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE, 1980. Geomorphology of southwestern James Bay: a low energy, emergent coast. — Pages 293-301 in S.B. McCann (ed.). *Coastline of Canada*. Geol. Surv. Can., Paper no. 80-10, 439 p.
- MEAGHER, L.J., A. RUFFMAN & J. MCG. STEWART, 1976. Marine geological data synthesis. James Bay, Volumes I and II (Unpublished manuscript) — Geomarine Associates Ltd., Project 75-5. Open File no. 497, Geol. Surv. Can., 561 p.
- POSTMA, H., 1961. Suspended matter and Secchi disk visibility in coastal waters. — *Nether. J. Sea Res.*, 3: 359-390.
- PRINSENBERG, S.J., 1977. Freshwater budget of Hudson Bay (Unpublished manuscript). — Ocean and Aquatic Sciences, Central Region. Manuscript Report Series, no. 5, 71 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1978. Analytical study of the circulation of James Bay. (Unpublished manuscript). — Ocean and Aquatic Sciences, Central Region, Manuscript Report Series, no. 6, 55 p.
- SKINNER, R., 1968. Regional geology. — Pages 3-6 in A.S. MacLaren, D.T. Anderson, J.A.C. Fortescue, E.G. Gaucher, E.H.W. Hornbrook & R. Skinner (eds.). *A preliminary study of the Moose River Belt, Northern Ontario*. Geol. Surv. Can., Paper no. 67-38, 85 p.
- STICHLIN, W., 1974. Sediment loads in Canadian rivers. — Inland Waters Directorate, Water Resources Branch, Ottawa, Tech. Bull. no. 74, 26 p.
- WANG, Y., 1980. The coast of China. — *Geosci., Canada*, 7: 109-113.
- WATER SURVEY OF CANADA, 1980. Sediment data reference index 1978. — Inland Waters Directorate, Water Resources Branch, Environment Canada, 40 p.





## **PATTERNS OF RECENT SEDIMENTATION IN THE EASTMAIN ESTUARY, PRIOR TO RIVER CUT-OFF<sup>1</sup>**

B. D'ANGLEJAN

*Institute of Oceanography, McGill University, and GIROQ  
3620 University Street, Montréal, Québec H3A 2B2*

### **Résumé**

L'estuaire de la rivière Eastmain, la deuxième rivière en importance quant au débit sur la côte est de la baie James, s'étend sur une superficie d'environ 16 km<sup>2</sup>. Une étude par carottage démontre que dans le chenal même, les argiles de Tyrrell ne sont recouvertes que par 30 cm ou moins de sables et de graviers. Des profils par réflexion sismique indiquent que l'épaisseur des dépôts post-glaciaires, lacustres ou marins, ne dépasse pas 15 m sur un till glaciaire sous-jacent ou sur la roche archéenne. À l'entrée et à la sortie du chenal, on trouve des sédiments à couches fines de sables et limons alternés, du type varves, et plus au large, dans la région affectée par le panache, des dépôts à couches irrégulières sombres et claires. Ces laminations et bandes qui contrastent entre elles en contenu organique paraissent refléter le changement saisonnier dans le débit sédimentaire de la rivière, lequel en conditions naturelles était supérieur à  $1 \times 10^6$  tonnes par an.

### **Abstract**

The estuary of the Eastmain, the second largest river in terms of annual discharge on the Québec side of James Bay, covers an area of approximately 16 km<sup>2</sup>. A survey by gravity coring shows that inside the river channel, the early post-glacial Tyrrell Sea deposits lie below less than 30 cm of coarse sands and gravels. Reflection seismic profiling indicates that the average thickness of post-glacial marine and lacustrine sediments does not exceed 15 m over a glacial till surface or the Archean basement. Within and just outside the channel entrance, the sediments are laminated with a varve-like textural regularity, while further offshore, in the region of James Bay affected by the river plume, they show irregular color banding. These laminations and color bands, which contrast in texture and organic matter content between dark and light units, appear to reflect seasonal changes in sediment output from the river. Under natural conditions, this was more than  $1 \times 10^6$  tons annually.

### **Introduction**

Coastal areas of James Bay are naturally subject to major seasonal oscillations in river discharge, and these variations combined with changes in water stability as well as tidal mixing between conditions of open water or complete ice cover. Are annual fluctuations in the physical environment recorded or not in the surface sediments of local estuaries? This question is of geological interest, as information on natural processes at work may be obtained from the analysis of these deposits, and it is now

acquiring environmental significance as the latter are becoming exposed to the effects of man-made transformations in the drainage basins.

This paper deals with the sedimentology of recent deposition in the Eastmain estuary and nearby regions of James Bay affected by the river plume. The natural discharge in the Eastmain channel was cut off in two stages during the summer of 1980, when the river was diverted northward into the La Grande basin. The flow of the Opinaca, its main tributary, was interrupted on April 20; for the Eastmain, this took place on July 19. Bottom sampling of the estuary took place from mid-June to mid-August, before its channel could be seriously altered by events

<sup>1</sup> Contribution to the programme of GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).

upstream. The data reported here may serve as baseline information to evaluate future changes as deposition in the estuary slowly adjusts to the new conditions.

#### Field and laboratory work

The sediment survey undertaken in 1980 included the collection of more than 70 bottom samples, gravity cores from both the estuarine channel and the region of James Bay facing the river entrance, and samples from the intertidal zone; 30 km of acoustic profiling transects made with an EG & G 5-KHz pinger probe; and measurement of the suspended load, both during the late winter under the ice and during the summer months. All sediment samples were processed at our McGill laboratory, grain-size analyses being made by standard sieving and pipette methods (Buller & McManus,

1979), and carbon analysis with a Leco induction furnace.

#### Geological setting, runoff, sediment input

The drainage basin of the Eastmain River extends over about 50,000 km<sup>2</sup> of the Canadian Shield east of James Bay (Fig. 1). The river channel extends approximately east to west, and is 500 km long, with a slope averaging 0.15%. This channel has various narrows and rapids where the river cuts into the underlying Archean volcanics and metasediments of the Superior Province (Franconi, 1978). Forty kilometres from its mouth, it is joined from the northeast by the Opinaca River. A smaller tributary, also flows from the north, the La Pêche River, and enters the river channel 8.5 km inland of James Bay.

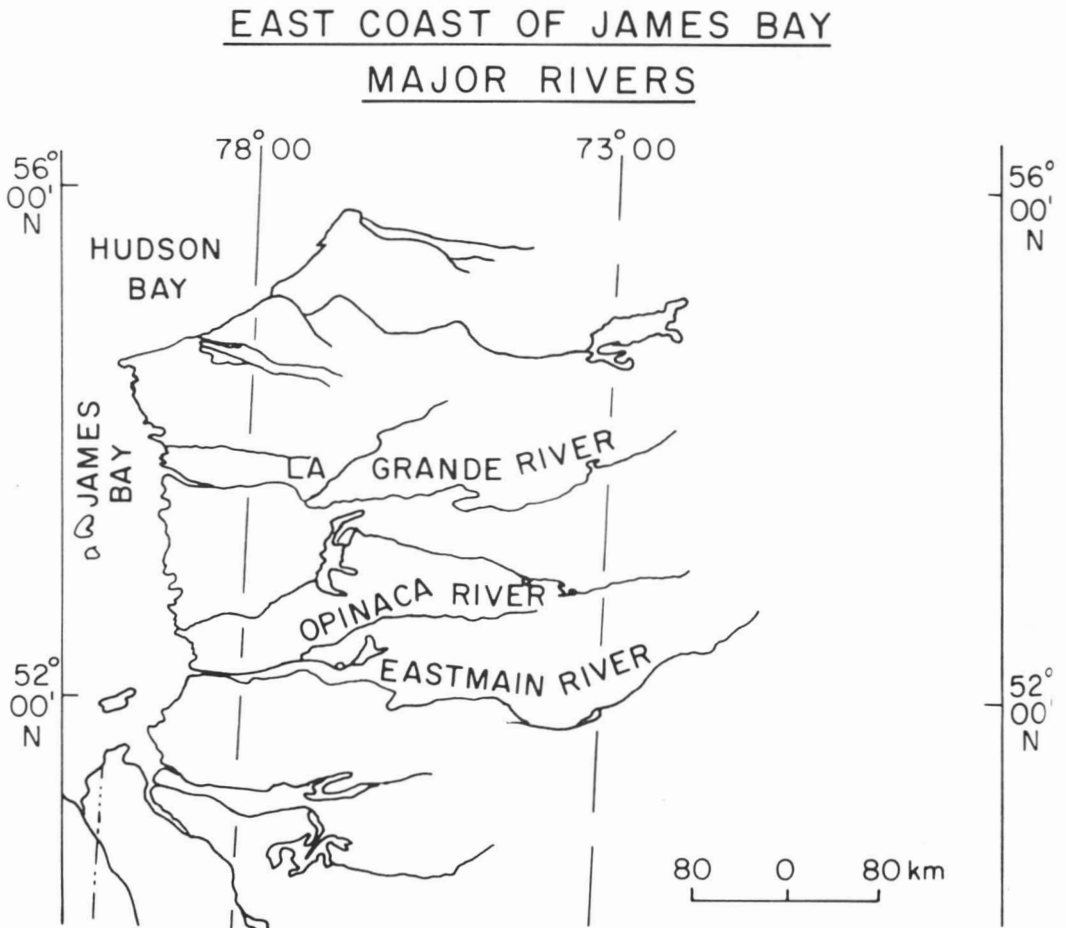


Figure 1. Location of the Eastmain River on the eastern shore of James Bay.

This is near the point of maximum salt intrusion at the head of the estuary.

The 1 to 2 km wide estuary covers an area of about 16 km<sup>2</sup>. Two channels separated by shallow banks and bars follow the northern and southern shorelines. The depths in the channels stay around 2 or 3 m below MLLW, except for a 6 m deep basin at the downstream end of the southern channel which terminates against a shallow still. The northern channel opens freely into James Bay. The mean tidal range in the estuary is about 1.5 m.

Over its last 150 km, the river dissects a slowly emerging coastal plain covered with late glacial and post-glacial deposits. These deposits consist of glacio-fluvial and laminated lacustrine sediments overlain by marine silty clays formed during the Tyrrell Sea invasion 7,900 years ago (Hardy, 1977). A maximum post-glacial uplift of 300 m or more is postulated from raised terraces along the east coast of James Bay (Hardy, 1977), with a residual rebound taking place presently at a rate of 1 m/100 years (Andrews, 1970).

Records of the water discharge 35 km from the exit between 1959 and 1980 indicate a mean yearly maximum toward the end of May of about 2,480 m<sup>3</sup>/s, which follows a minimum in mid-April, of approximately 140 m<sup>3</sup>/s for the period of observation (Aubin *et al.*, 1976). From these records, the Eastmain is the second largest river on the Québec side of James Bay following La Grande. Large year-to-year variations in peak discharge are observed (Fig. 2) with extreme values 35 times that of the low flow figures. During maximum river flow, a large fresh water plume projects into the bay.

The solid discharge was monitored in 1976, a year marked by a relatively high, spring peak flow at 3,250 m<sup>3</sup>/s, a few kilometres above La Pêche River (Société d'Énergie de la Baie James, 1976, internal report). The maximum measured suspended solid flux was approximately 55,780 tons/day on May 8, with a minimum on April 4 of 102 tons/day. Peak suspended concentrations averaged over the stream cross-sections at the measurement site exceeded 250 mg/l on May 8, and values of 6 mg/l were re-

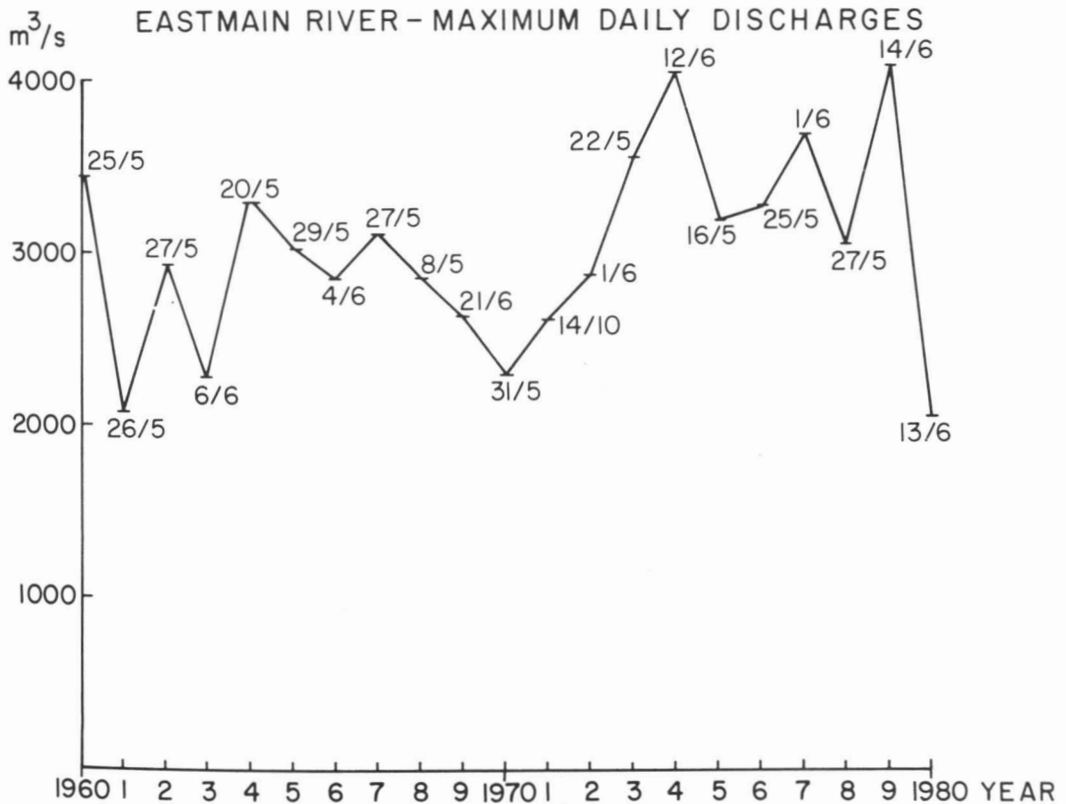


Figure 2. Evolution of the Eastmain peak discharge since 1959, with day and month of event.

corded on April 20. The solid discharge increased steadily and abruptly over a ten-day period to its maximum which was reached at least two weeks before maximum flow (Fig. 3). The river flow went through a two-step increase, initially rising and flushing the channel of accumulated sediments, then steadying for a few days before climbing to its peak value with a considerable drop in sediment load. As a result a relatively low correlation is found between solid and fluid flows ( $r = 0.58$ ; Fig. 3).

A Landsat imagery on May 31 shows that the ice front had been broken up and pushed a few miles offshore of the river entrance, presumably as a result of the high discharge in the preceding two weeks.

The weighted mean, yearly sediment load introduced into the Eastmain estuary in 1976 was about  $1.3 \times 10^6$  tons. Two-thirds of this transport occurred in association with the post-break-up high flow. Thus the year-to-year variations in sediment yield are strongly influenced by the relative magnitude of the peak discharge. Over the  $16 \text{ km}^2$  of estuarine channel surface between the La Pêche River and the opening into James Bay, the sediment flux of 1976 corresponds to a maximum sedimentation of about  $8 \text{ g/cm}^2$ , or a mean annual layer of 5 cm (water content = 30% by weight). However the evidence given below indicates that all or most of this river load is exported to James Bay.

## Results

### STRATIGRAPHY OF THE QUATERNARY DEPOSIT

The shallow seismic profiling provides a mean of interpretation of the Quaternary stratigraphy based on sub-bottom reflectors, which should be confirmed in the future by drilling. Three seismic profiles are shown in Figure 4. The two cross-channel profiles (no. 19 and no. 17) have a maximum penetration in the Quaternary deposits of 12 m to 15 m. It remains undetermined if the deeper well-defined reflector (Fig. 4,d) represents the Precambrian basement, early glacio-fluvial deposits, or a glacial till recording the last ice advance. On profile no. 17 this reflector disappears northward under the post-glacial cover which fills the present shallow northern channel. Faint subparallel reflectors within the dome structure to the south suggest one of the two latter possibilities. Among the multiple reflectors under the northern channel at least two successive episodes of channelling and in-filling are recorded. Along profile no. 19, a constant sediment thickness of about 12 m persists over the lower horizon, presumably representing a succession of lacustrine and Tyrrell Sea deposits. An intermediate reflector, conformable to the lower one, may signal the transition between the two phases. This is recorded on exposed cliff sections as a gravel bed, (Hardy, 1977), which is a good reflecting surface. If so, about 8 m of

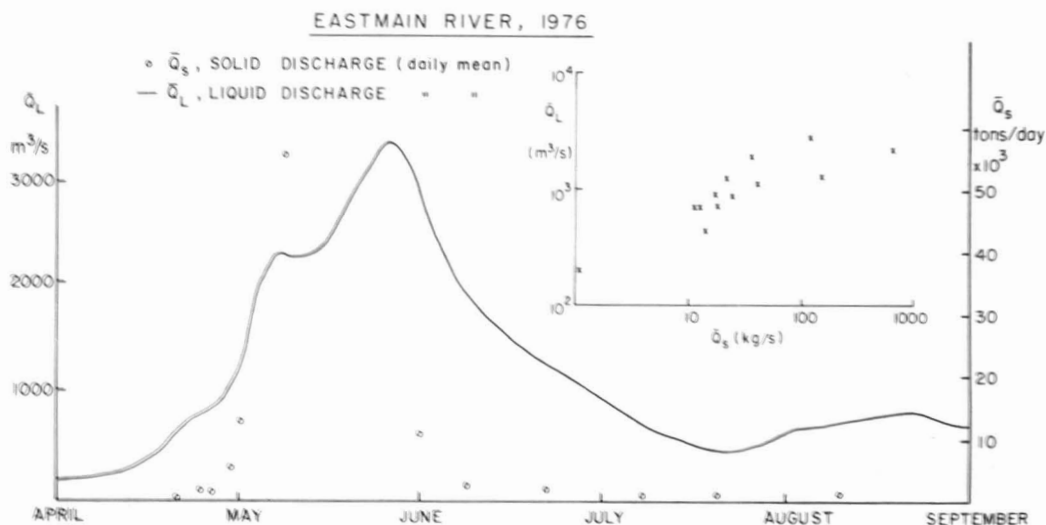


Figure 3. Solid and liquid discharges ( $Q_s$  &  $Q_L$ ) of the Eastmain in 1976, between April and September. Regression of  $Q_s$  on  $Q_L$  shown.

EASTMAIN ESTUARY - LOCATION OF SEISMIC TRANSECTS

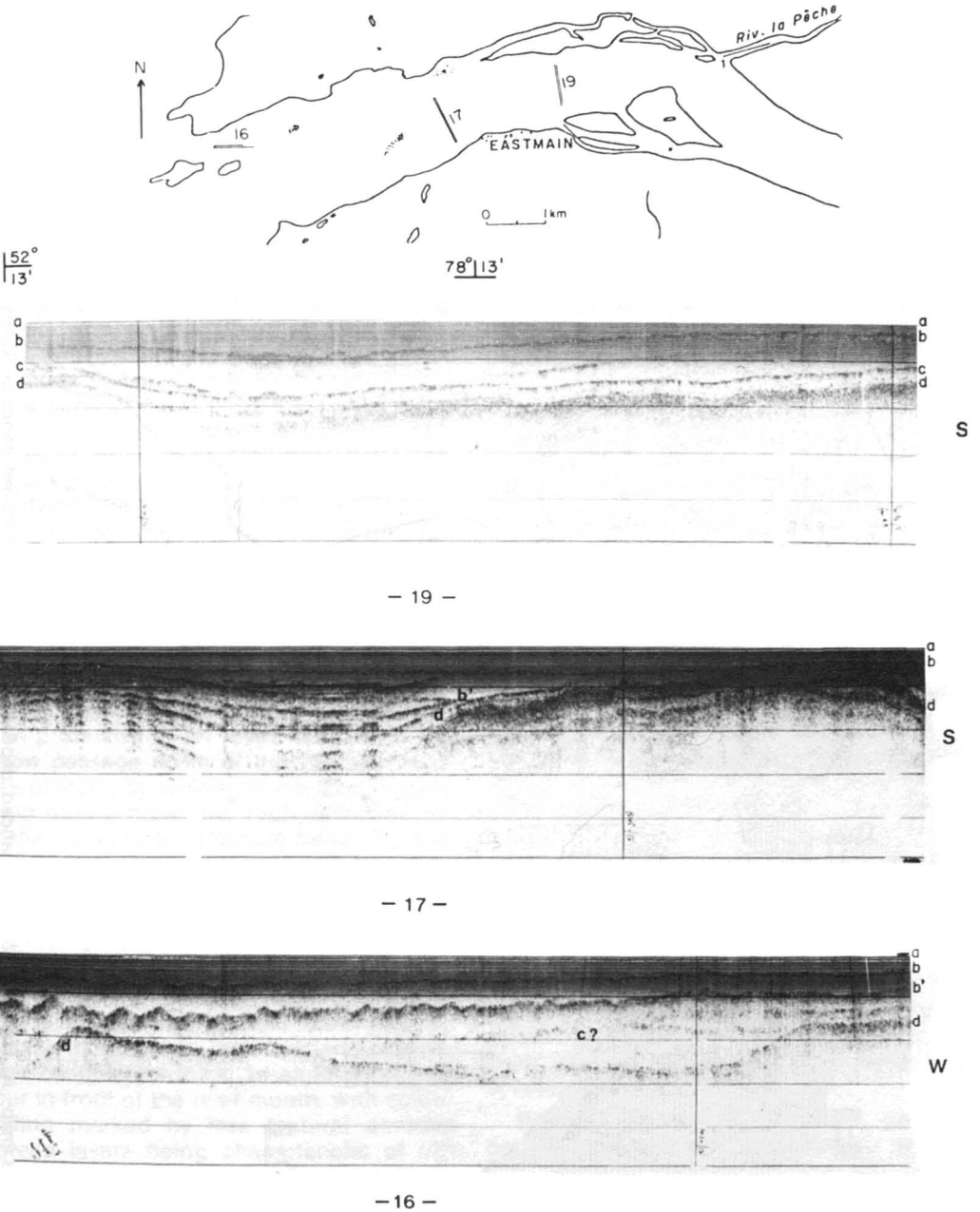


Figure 4. Shallow seismic profiling lines: a, water surface; b, sediment surface; b<sup>1</sup>, echo of the sediment surface; c, intermediate reflector, possibly the top of the pre-Tyrrell lacustrine deposits; d, glacial drift or bedrock on profiles 19 and 17, bedrock on 16. Vertical distance between horizontal scale lines: 8 m.

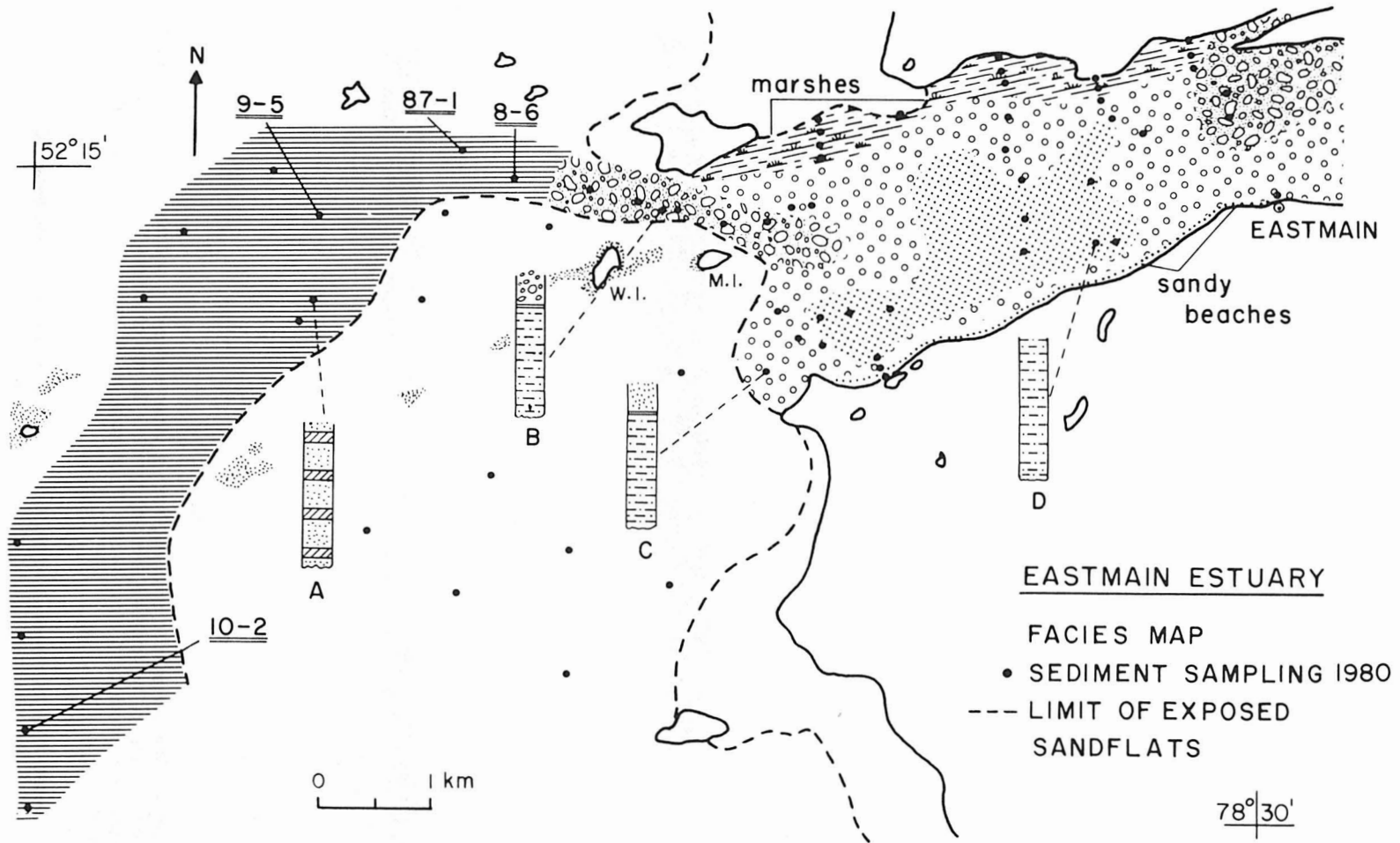


Figure 5. Facies map: A, laminated or color-banded deposits; B, gravel over Tyrrell deposits; C, sand over Tyrrell deposits; D, Tyrrell deposits exposed. W.I., Whale Island; M.I., Manager Island. Southern platform (below dotted line) is covered with sands and gravels (no core penetration).

marine clays would overlay 4 m of lake sediments. Near the river mouth, the presence of outcropping Archean rocks on Manager Island 20 m or so to the south of transect no. 16 unequivocally identify the lower horizon as the Precambrian bedrock polished by ice movement. Fifteen to 20 m of Quaternary sediments are present in the centre of the depression.

#### RECENT SEDIMENTS

The micro-stratigraphy in the core samples makes it possible to distinguish between several facies in the surface deposit of the estuary, as shown in Figure 5.

Large areas of the estuarine channel are covered with a thin sheet of well sorted sands, with or without gravels, resting over silty muds (facies C, Fig. 5). Discontinuities of this surficial sand layer must exist since echograms indicate that the channel floor is rugged and in places rippled. In the central and deeper parts of the estuary, the underlying silts are exposed (facies D, Fig. 5). In the channel opening north of Whale and Manager islands, the Tyrrell silts are buried under a pavement of coarse gravels with no sands (facies B, Fig. 5). The gravels are made up of well-rounded debris of the local Archean sediments. The sands appear to have been winnowed and transported seaward by currents as they reappear offshore as a protective layer over the silts. The narrow passage north of the two islands is often plugged by remaining ice floes in early spring during break up. High velocities under the ice as water pressure builds up from the river may cause winnowing of the sands.

A major and striking difference between the offshore and inshore sediments is the presence of dark and light bands or textural layering at all outer stations in James Bay, while inside the channel the muds are of uniform texture and spotted dark grey by reducing conditions. Well-defined laminae, a few centimetres thick, of sands and silts occur in front of the river mouth, with colour banding marked by less textural contrast between layers being characteristic of offshore areas. All these stratified sediments are in the region exposed to the Eastmain River plume. Similar banding has also been found in sedimentary beds at the entrance of Rupert Bay (d'Anglejan, 1980). Further discussion of these laminated deposits will be made below.

In the channel area, the onshore material is well-sorted sand on pocket beaches along

the wind-exposed south shore. This contrasts with silty intertidal marshes on the north shore. The underlying silts are identified as undistributed Tyrrell Sea deposits by the occurrence of a large clay-size [ $< 2 \mu\text{m}$  particle fraction (50-60%)], a uniform  $\text{CaCO}_3$  content (3.0 to 3.5% by weight), and a small amount of organic carbon ( $< 0.8\%$  by weight), which match similar properties in exposed marine clays along the channel banks, and published values for the Tyrrell deposits (Hillaire-Marcel, 1976) (Fig. 6). By contrast the offshore stratified sediments have a smaller fine fraction ( $< 30\%$ ) and  $\text{CaCO}_3$  content ( $< 2\%$ ) and more than 3 times the organic carbon (1.5 to 2%). The distribution of organic matter is thus the reverse of that expected, with lesser values in the inshore finer material. No lignin could be detected in the offshore sediment by the screening colour test of Pocklington & Hardstaff (1974) in the offshore sediment, suggesting that the organic material is of planktonic rather than terrestrial origin. Only traces of lignin were observed at the river mouth.

#### LAMINATED DEPOSITS

As stated above, two varieties of laminated deposits are identified offshore. The best developed textural laminations occur just outside of the river entrance north of Whale Island. There, under coarse sands up to 10 cm thick, layers of clayey silts and well sorted sands alternate. Two cores from the north passage (8-6 and 87-1, Fig. 5) are shown on Figure 7. The thickness of the layers vary between one and several centimetres. The textural layering is manifested by the vertical fluctuations of the organic carbon content. Contact between a sand layer and the underlying organic rich silt layer is very sharply marked by a dense dark horizon grading downward into lighter colour sediments. Penetration of the gravity corer was limited by the sand layers, but several doublets were obtained.

Farther offshore the textural contrast between layers is not as evident or regular, but uneven dark bands alternate with lighter ones. Still an examination of dark and light bands generally indicates that a higher organic carbon and a lower sand content occur in the former as compared with the latter ones.

Because of a general absence of benthos near the river entrance or the prevalence of surface detritus feeders over the deposit

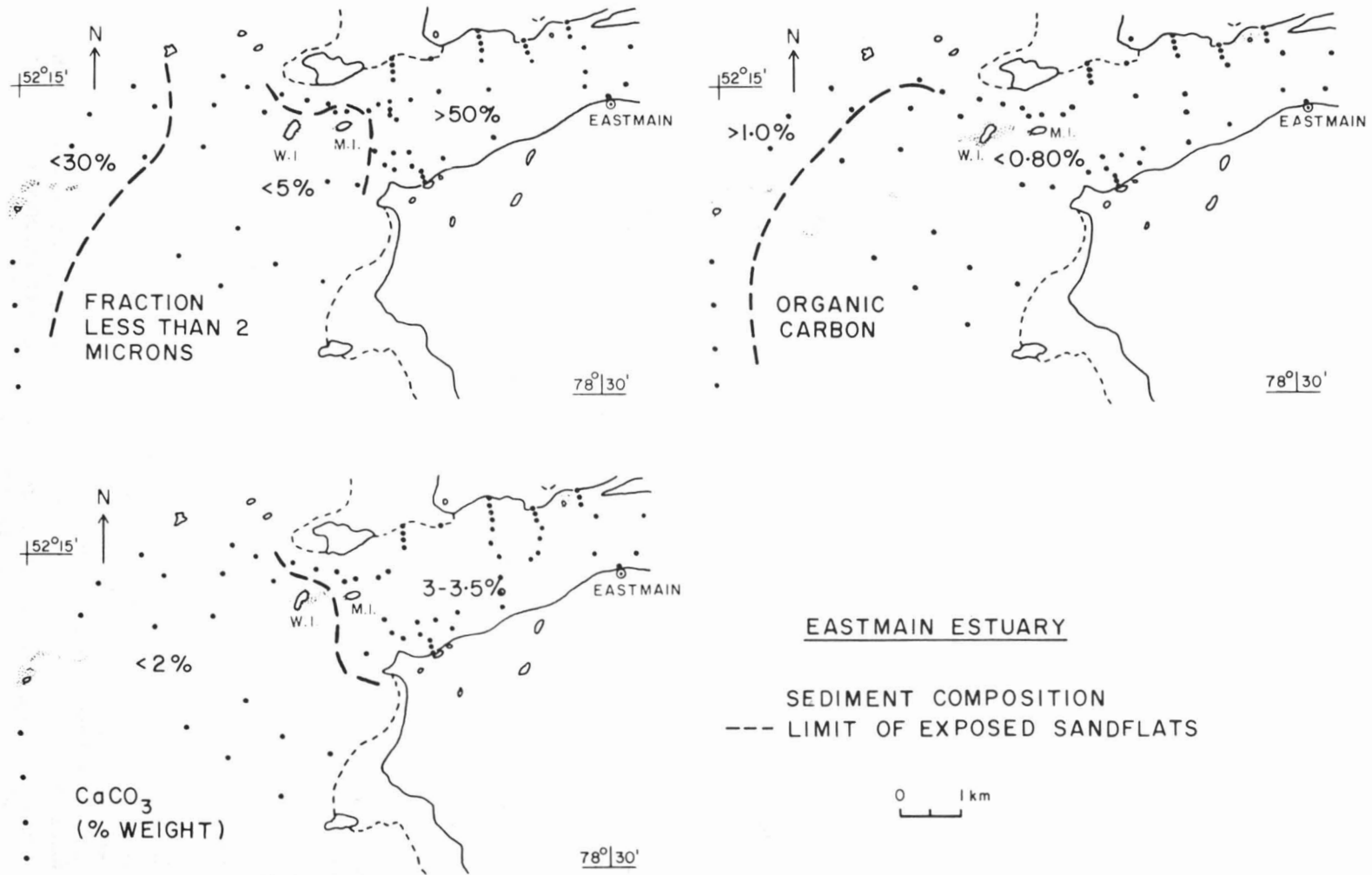


Figure 6. Organic carbon,  $\text{CaCO}_3$  and clay content in surface sediments (below the surface sands or gravels, when present).



farther offshore (Grenon, 1982), little disturbance of the laminae by organic activity is expected.

### Discussion

Regular colour and textural bands in the sediments occurring in the offshore region of the Eastmain estuary raise the possibility that these could be annual layers. Contrasting conditions and rapid succession between high flow in the spring, a rapidly decreasing discharge during the summer and a minimum one in late winter should bring about fluctuations in plume development and sediment deposition. In this annual cycle, coarse sandy layers with little organic components are built quickly during the spring freshet. These deposits bury summer and winter sediments that are formed in quieter flow conditions, and are both finer and with a higher fraction of organic detritus. Freshwater varves similar to these in vertical spacing have been described from early post-glacial lacustrine sediments outcropping along the Eastmain River (Hardy, 1976). A modern equivalent linked with fluctuations in river discharge has been reported at the head of the Saguenay Fjord (Schafer *et al.*, 1980).

Attempts have been made to date light and dark bands in core 10-2 (Fig. 5) using the decay of the naturally occurring radioisotope  $Pb^{210}$ . The extraction and measurements were done in the laboratory of F. Rigler at McGill University. It was only detectable at the surface of the core, disappearing in the sandy layer found at 12 cm depth. No  $Cs^{137}$  activity above background was measured on the same samples (measurements performed by C. Barbeau at the Department of Chemistry, Université Laval). The same lack of  $Cs^{137}$  is reported for core 9-5 (Fig. 5), on which no  $Pb^{210}$  was detectable even at the surface. No dating is presently available on the more uniformly layered cores (no. 8-6 and 87-1) near the river mouth. A lack of  $Cs^{137}$  surface activity is perhaps not surprising in recent sediments transported from a drainage basin with little or no soil horizon available to record earlier  $Cs^{137}$  fluxes from the atmosphere. Surface sediments derived from the recent erosion of riverbank exposed post-glacial marine clays would reflect the current atmospheric flux of the man-made radioisotope which is very low ( $\sim 1$  dpm/cm<sup>2</sup>/a) (Turekian *et al.*, 1977). The activity of  $Pb^{210}$  is con-

siderably reduced in coarse sediments transported during high river discharge (Smith & Walton, 1980), which may explain its rapid drop below the surface in core 10-2. More detailed sampling of this core and others is needed to determine the regional  $Pb^{210}$  stratigraphy.

Doublets in cores 87-1 and 8-6 could be assigned tentatively to annual depositional cycles as suggested on Figure 7. The exact repetition of light (coarse) and dark (fine) bands, recording the sudden spring river output over the previous summer-winter low flow deposit, is suggestive of this. The two cores would provide a five-year sedimentary record, the core barrel being stopped at both sites by coarse spring deposits of the 1974 peak flow which was unnaturally high (Fig. 2). The yearly rates of sedimentation of 4 to 6 cm indicated are realistic. They fit those determined recently in the Saguenay River whose volume discharge is of comparable magnitude, (Smith & Walton, 1980), and those estimated above on the bases of the solid discharge. The relatively high concentrations of organic carbon found in offshore laminated deposits may arise as a consequence of the fine organic-rich detritus of the open productive season being rapidly buried under a layer of coarser sandier sediments during the high water stage. If so, the man-made disruption of the seasonal runoff cycle, by preventing this layered sedimentation to continue, may help stimulate the return to the waters of nutrients regenerated in the sediments, with potentially positive effects on biological production.

The uniform well-sorted sandy top layer, found over large areas of the estuary, may well reflect the initial effects of man-made changes in the drainage basin. These sands are assumed to be fluvio-glacial debris originating upstream from riverbank erosion. They may have undergone a cycle of deposition on beaches along the south shore of the estuary, in which case these would be the proximate source, perhaps releasing sand to the channel during the high water stage. Normally coarser material deposited during the phase of maximum solid discharge over the underlying Tyrrell clays would be flushed by the succeeding peak flow and have short residence time in the estuary. Year 1980 was an unusual one. First, it came after a year of exceptional discharge in 1979. Secondly, with the closing of the Opinaca River in late April, sands

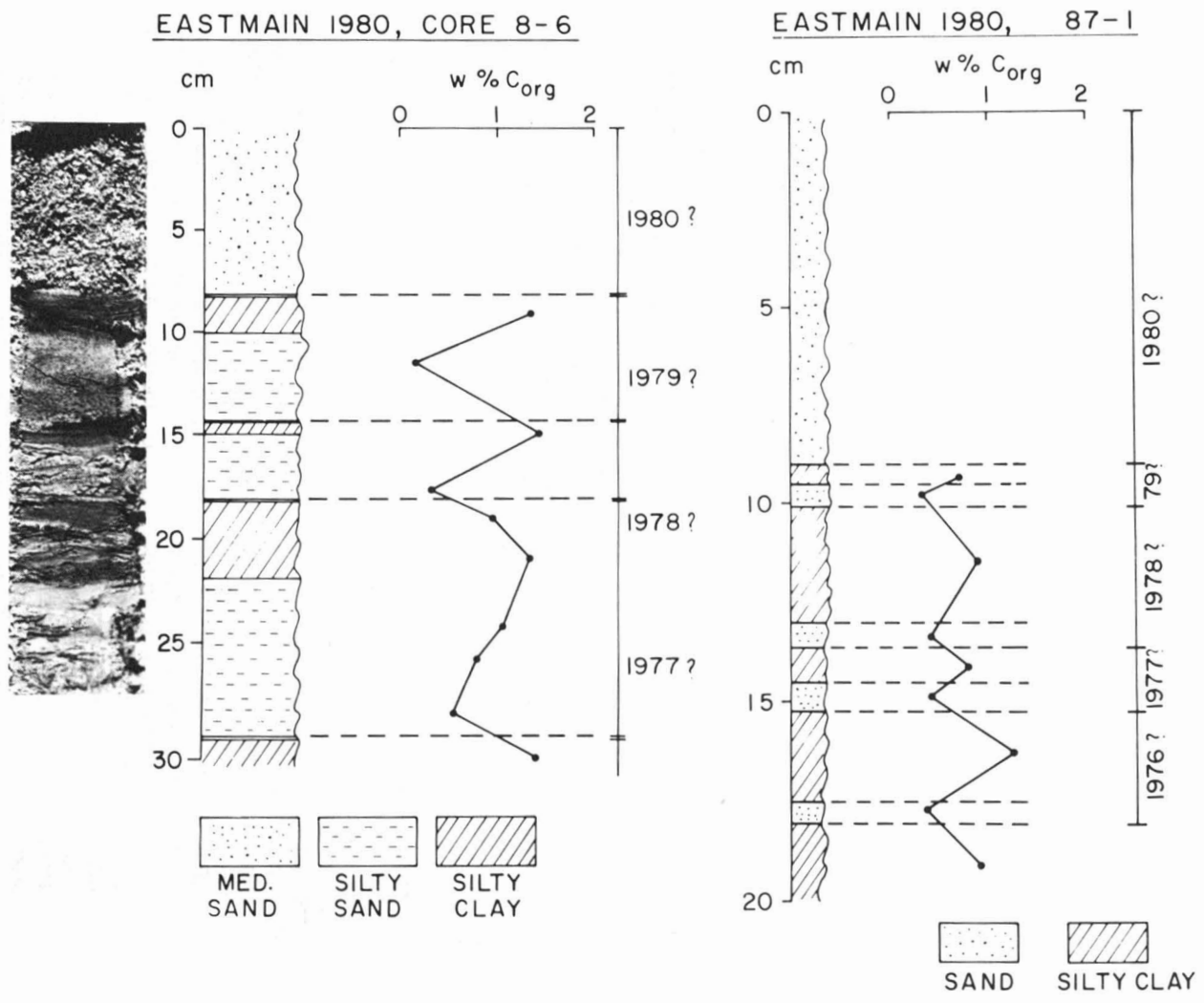


Figure 7. Core 8-6 and Core 87-1.

introduced into the estuary following break-up were at best only partially removed as the natural peak discharge was never reached (Fig. 2).

Long term monitoring of bottom current velocities in the spring and early summer of 1979 and 1980 indicates maximum ebb values of between 60 cm/s at 1 m above the bottom, generally large enough to erode and transport sand or fine gravel lesser than 5 mm in diameter (Hjülstrom, 1935), although insufficient to disturb cohesive clay-size particles which predominate in the dark summer layer.

### Conclusions

Examination of the sedimentary record in the Eastmain estuary indicates that while under undisturbed conditions the river carried more than  $1 \times 10^6$  tons/a of suspended sediment (the bedload itself may represent 5% of the total transported solids (Aubin *et al.*, 1976), none of this material remains inside the channel. It is transported out by the peak flow of the river which lags several days behind its initial solid discharge. Silts and sands are deposited in the plume-affected frontal region of James Bay. Well developed varve-type laminations and more irregular colour-banded rhythmites [the *symmict* varves of Sauramo (1923)] are observed in these plume deposits. The finer components, clay-size material grading into an ultrafine ( $<1 \mu\text{m}$ ) chlorite-rich fraction present in the Tyrrell deposits, are carried out toward Hudson Bay by the northward freshwater circulation of James Bay.

On the channel floor, marine clays are exposed with an uneven thin cover of coarse sands and pebbles; these may be left as a result of insufficient flushing early in 1980 as the river was dammed upstream. Over the channel floor, 12 to 15 m of post-glacial marine and lacustrine clays are left above the underlying bedrock surface, although erosion of this material is still taking place as a result of the slow residual uplift of the coastal areas.

### Acknowledgments

This work was undertaken under a contractual arrangement between the Société d'Énergie de la Baie James and GIROQ. The assistance of P. Bédard, P. Peltola and J.F. Grenon during the field work is gratefully acknowledged. Christiane Valentin did the laboratory analyses. Thanks are

extended to F. Rigler of McGill University and C. Barbeau of Laval University, who did the isotopic activity measurements.

### References

- ANDREWS, J.T., 1970. Present and postglacial rates of uplift for glaciated northern and eastern North America derived from post-glacial uplift curves. — *Can. J. Earth Sci.*, 7: 703-715.
- AUBIN, L., O. CARON & T. TRAN VAN, 1976. Hydrologie et sédimentologie du territoire de la baie James. — Pages 431-444 in James Bay-Environment 1976 Symposium Proc., 883 p.
- BULLER, A.T. & J. MCMANUS, 1979. Sediment sampling and analysis. Chapter 5. — Pages 87-130 in K.R. Dyer (ed.). *Estuarine hydrography and sedimentation*. Cambridge Univ. Press, 230 p.
- D'ANGLEJAN, B., 1980. Effects of seasonal changes on the sedimentary regime of a sub-arctic estuary, Rupert Bay (Canada). — *Sediment. Geol.*, 26: 51-68.
- FRANCONI, A., 1978. La bande volcanosédimentaire de la rivière Eastmain inférieure (ouest de la longitude 76°15'). — *Min. Rich. nat. Québec, Dir. Géol., Rapport n° DPV-574*, 177 p.
- GRENON, J.-F., 1982. The macrobenthic fauna of the Eastmain River estuary (James bay), before the diversion. — *Naturaliste can.*, 109: 793-802.
- HARDY, L., 1976. Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses-terres de la baie de James. — Ph. D. thesis, McGill University, Montréal, 264 p.
- HARDY, L., 1977. La déglaciation et les épisodes lacustre et marin sur le versant québécois des basses-terres de la baie James. — *Géogr. phys. Quat.*, 31: 261-273.
- HILLAIRE-MARCEL, C., 1976. La déglaciation et le relèvement isostatique sur la côte est de la baie d'Hudson. — *Cah. Géogr. Québec*, 20: 185-220.
- HJÜLSTROM, F., 1935. The morphological activity of rivers as illustrated by rivers Fyris. — *Bull. geol. Instn Univ. Upsala*, v. 35, ch. 3.
- POCKLINGTON, R., & W.R. HARDSTAFF, 1974. A rapid semi-quantitative screening procedure for lignin in marine sediments. — *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 36: 92-94.
- SAURAMO, M., 1923. Studies of the Quaternary varve sediments in southern Finland. — *Bull. Commn. geol. Finl.*, no. 60, 164 p.
- SCHAFER, C.T., J.N. SMITH & D.H. LORING, 1980. Recent sedimentation events at the head of Saguenay Fjord, Canada. — *Env. Geol.*, 3: 139-150.
- SMITH, J.N. & A. WALTON, 1980. Sedimentation accumulation rates and geochronologies measured in the Saguenay Fjord using the

- Pb-210 dating method. — *Geochim. cosmochim. Acta*, 44 : 225-240.
- SOCIÉTÉ D'ÉNERGIE DE LA BAIE JAMES, 1977. Mesures sédimentologiques 1976 site : tronçon aval, rivière Eastmain. — Rapport interne, Société d'Énergie de la Baie James-Hydrologie, Montréal.
- TUREKIAN, K., Y. NOZAKI & L.K. BENNINGER, 1977. Geochemistry of atmospheric radon and radon products. — *Ann. Rev. Earth Planet Sci.*, 5 : 227.

## MORPHOLOGIE LITTORALE DE LA BAIE DE RUPERT

P. CHAMPAGNE

Les Consultants SOGEAM Inc.  
460 rue Saint-Charles ouest, bureau 303  
Longueuil, Québec J4H 1G4

### Résumé

Les estrans de la baie de Rupert (Québec) évolueraient selon trois modes de développement. Le premier concerne la sédimentation de particules de la taille des sables sur les estrans d'étendue moyenne. Présentement, l'argile de la mer de Tyrrell affleure sur presque tout le bas de ces estrans et est érodée par les vagues et les courants de marée. Sa fraction fine est remise en suspension et évacuée par le jusant tandis que sa fraction plus grossière, comprenant jusqu'à 15% de sable fin, tend à être repoussée par les vagues sur le haut estran, principalement au niveau du schorre où la végétation sert de piège à sédiments. De nombreuses coupes stratigraphiques montrent que l'épaisseur maximale du placage de sable sur l'argile marine ne dépasse pas 150 cm.

Le deuxième type de développement concerne uniquement la baie de Cabbage Willows, le plus grand reentrant de la baie de Rupert. On y observe un envasement plus classique lié à la décantation des particules fines transportées en suspension par les courants de marée. Une datation au  $^{14}\text{C}$  sur des coquillages de *Macoma balthica* prélevés à la base d'une coupe recoupant une séquence complète de l'estran, indiquerait que le taux d'envasement de cet estran est inférieur à 1 mm/an.

Enfin, de nombreuses sections du littoral sont caractérisées par un talus argileux actif. Ces talus évoluent par sapement de leur pied par les vagues, redressant ainsi leur pente qui devient instable et donne lieu à des éboulements et des glissements.

Le plus important facteur contrôlant la dynamique littorale semble être le relèvement isostatique, qui favorise la progression des estrans sur la mer.

### Abstract

Three types of coastal development have been observed in the Rupert Bay estuary (Québec). The first type is associated with medium width intertidal zones where old marine clays deposited in the Tyrrell Sea are being eroded on the lower part of the tidal flats by wave and tidal currents. The fine particles are being resuspended and evacuated by the ebb currents whereas the sand fraction (up to 15%) tends to be deposited by wave currents on the higher part of the tidal zone, where the vegetation helps to trap the particles. Many stratigraphic profiles show that the maximum thickness of recent sand accumulation over marine clay is 150 cm.

The second type of development relates uniquely to the Cabbage Willows Bay, the largest coastal embayment of the Rupert Bay. Its coast is characterized by a more classic sedimentation pattern linked to the tidal flow invasion of suspended material. A radiocarbon dating of *Macoma balthica* shells taken at the base of a 1.3 m section representing a whole tidal flat stratigraphic sequence would tend to indicate that its sedimentation rate is less than 1 mm/year.

Finally, many sections of the coast are characterized by active cliffs cut in marine clays. These cliffs are eroded by wave undercutting their base. This creates instability and triggers shallow slides.

The most important factor governing the dynamics of the Rupert Bay coast seems to be the isostatic uplift of the area, which favors the development of the tidal flat extending offshore.

**Introduction**

La baie de Rupert constitue le plus grand rentrant de la côte québécoise de la baie James et son littoral s'étend sur une longueur d'environ 150 km. Elle forme un vaste complexe estuarien où débouchent quatre rivières: Nottaway, Broadback, Rupert et Pontax, rivières dont la somme des débits moyens est de l'ordre de  $2\,500\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

La présente recherche fut réalisée dans le cadre d'études menées par la Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ) visant l'évaluation des répercussions consécutives à l'aménagement hydro-électrique des rivières Nottaway, Broadback et Rupert (Champagne, 1980). Les objectifs de l'étude consistent à décrire les unités morfo-sédimentologiques du littoral de la baie de Rupert et à préciser les mécanismes responsables de leur mise

en place, de façon à évaluer les impacts susceptibles de se produire par suite des nouvelles conditions hydrodynamiques découlant de l'aménagement projeté. Cet article en présente les premiers résultats et fournit une analyse de la morphologie littorale de la baie de Rupert.

**Matériel et méthodes**

L'étude comprend l'interprétation détaillée de photographies aériennes à l'échelle de 1 : 15 840, qui a permis de délimiter les différentes unités morfo-sédimentologiques du littoral (fig. 1). Les résultats de cette interprétation ont été vérifiés à l'aide de photographies aériennes asynchrones dont l'échelle est différente, et de prises de vue au

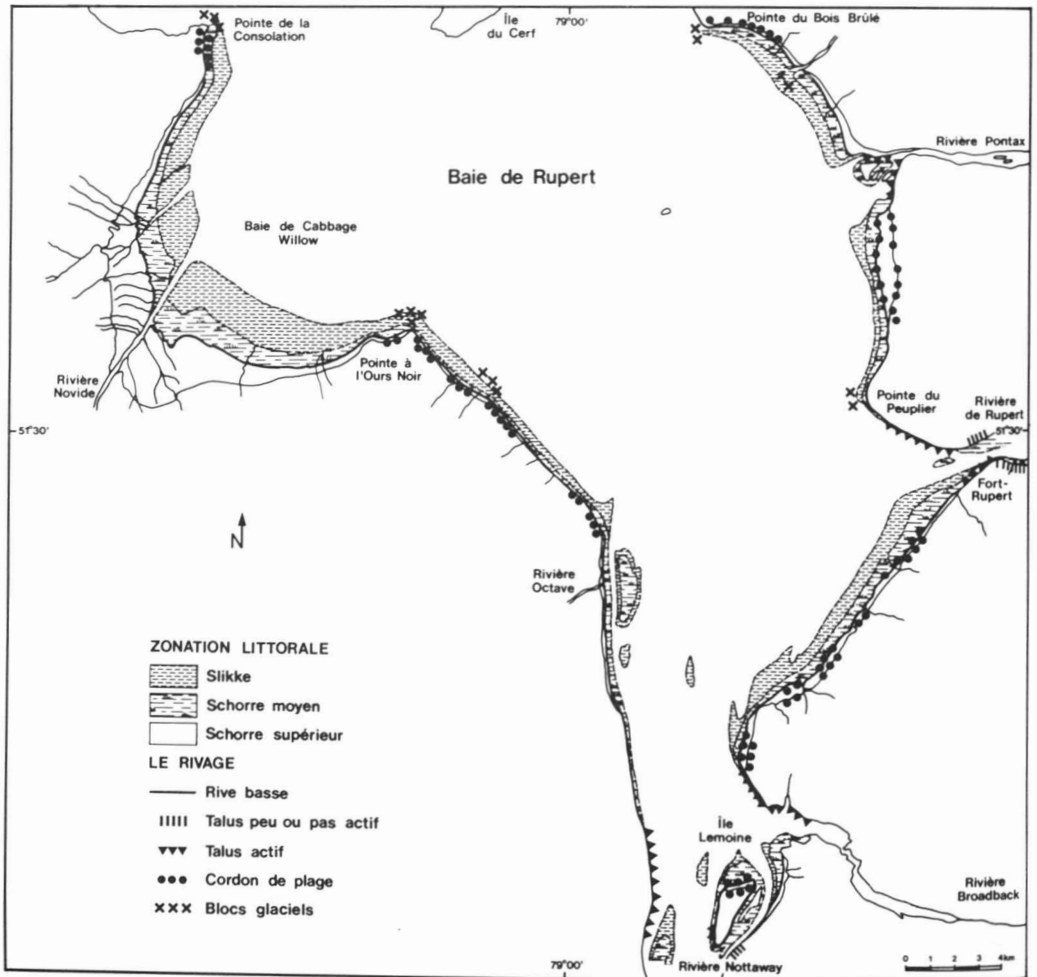


Figure 1. Carte morphologique du littoral de la baie de Rupert.

sol et en hélicoptère, empruntées aux études antérieures de Laverdière & Guimond (1975).

Une campagne de terrain réalisée en août 1980 a permis d'identifier les composantes stratigraphiques des estrans à partir de nombreuses coupes et de préciser les limites de la cartographie initiale. La connaissance de la composition superficielle des estrans découle des nombreux résultats d'analyses granulométriques contenus dans les rapports de la SEBJ.

### Agents et processus littoraux actuels

La plupart des vagues qui affectent la baie de Rupert sont formées à l'intérieur même du rentrant. Les îles parsemées à son embouchure empêchent en partie les vagues engendrées dans la baie James d'y pénétrer. Néanmoins, le grand axe de la baie, d'orientation S.E.-N.O., offre à la composante N.O. des vents dominants d'été, un fetch de plus de 40 km, tandis que la composante S.O. peut compter sur un fetch d'une dizaine de kilomètres. Toutefois, la faible profondeur de la baie (inférieure à 6 m) permet seulement la formation de vagues de faible amplitude.

La baie de Rupert est caractérisée par une circulation de type estuarien. L'amplitude des marées à l'entrée de la baie, près de l'île du Cerf, varie de 0,75 m en morte-eau à 2,75 m en vive-eau, le marnage moyen étant de 1,85 m. On distingue l'estuaire fluvial, où débouchent les rivières Nottaway, Broadback et Rupert, de la zone de mélange des eaux douces et des eaux salées, située au nord de la pointe du Peuplier. Dans ce dernier secteur, les courants seraient liés à la propagation de l'onde de marée et ils seraient peu influencés par les débits fluviaux (Quellet, 1977; Hausser & Boivin, 1978). De forts courants de marée (de l'ordre de 0,9 à 1,7 m/s) ont été mesurés dans l'axe de la baie. Cependant, malgré la présence de nombreux fronts qui provoquent des gradients latéraux importants, on connaît très peu les échanges latéraux qui contribuent au façonnement du littoral.

Par ailleurs, il existe une zone de turbidité maximale de part et d'autre de l'île du Cerf. La concentration moyenne de matières totales en suspension y serait de l'ordre de 120 mg/l (D'Anglejan, 1977, 1978). Il est probable qu'une partie de ces matériaux alimentent en particules fines certains estrans du littoral de la baie de Rupert.

L'action des glaces sur l'évolution des littoraux de la baie de Rupert est complexe et elle ne peut être définie globalement. D'une part, les glaces se soudent à la rive au début de l'hiver et protègent celle-ci contre l'action érosive des vagues pendant cinq à six mois par an (Michel, 1978). De plus, la glace de rive assure probablement à l'eau boueuse des marées, qui pénètre en dessous, un milieu très calme, propice à l'accumulation hivernale de boues, comme dans l'estuaire du Saint-Laurent (Allard & Champagne, 1980). D'autre part, la présence dans les schorres de nombreuses mares glaciales et le transport de blocs d'échelle métrique sur les estrans témoignent de l'action érosive des glaces lors du déglacement (Dionne, 1976, 1978, 1980).

### Le milieu physique

#### CADRE GÉNÉRAL

La baie de Rupert occupe une ample dépression qui s'est développée à même la plaine côtière du territoire de la baie James, unité caractérisée par une faible topographie et une épaisse couverture de matériaux meubles composés d'argile marine (Bostock, 1970; Hardy, 1976).

Le secteur méridional de la baie James a été un milieu particulièrement dynamique depuis la déglaciation. La sédimentation fine dans le bassin de la mer de Tyrrell a donné d'épais dépôts argileux de grande étendue. La surface de la plaine côtière au droit de la baie de Rupert s'incline régulièrement vers l'O.N.O., suivant une pente de 1,5 m/km (fig. 2). Il est vraisemblable que cette surface argileuse se déplaçait jadis vers le centre du bassin avec une inclinaison analogue ou légèrement plus faible. Ce plan théorique intercepte le niveau 0 géodésique, près d'une ligne reliant la pointe du Bois-Brulé et la pointe à l'Ours Noir. Au sud-est de cette ligne, il y aurait eu érosion d'une tranche relativement épaisse des dépôts marins, alors qu'au nord-ouest, il y aurait toujours eu une lente sédimentation.

Le haut du talus sis à la limite actuelle de la baie entre les rivières Broadback et Rupert, enregistre une dénivelée d'environ 25 m. L'altitude de 20-25 m correspond, dans l'histoire du relèvement isostatique post-glaciaire, à la période où le rythme de soulèvement est passé de rapide à lent, c'est-à-dire approximativement de 5 m/100 ans à 0,7 m/100 ans

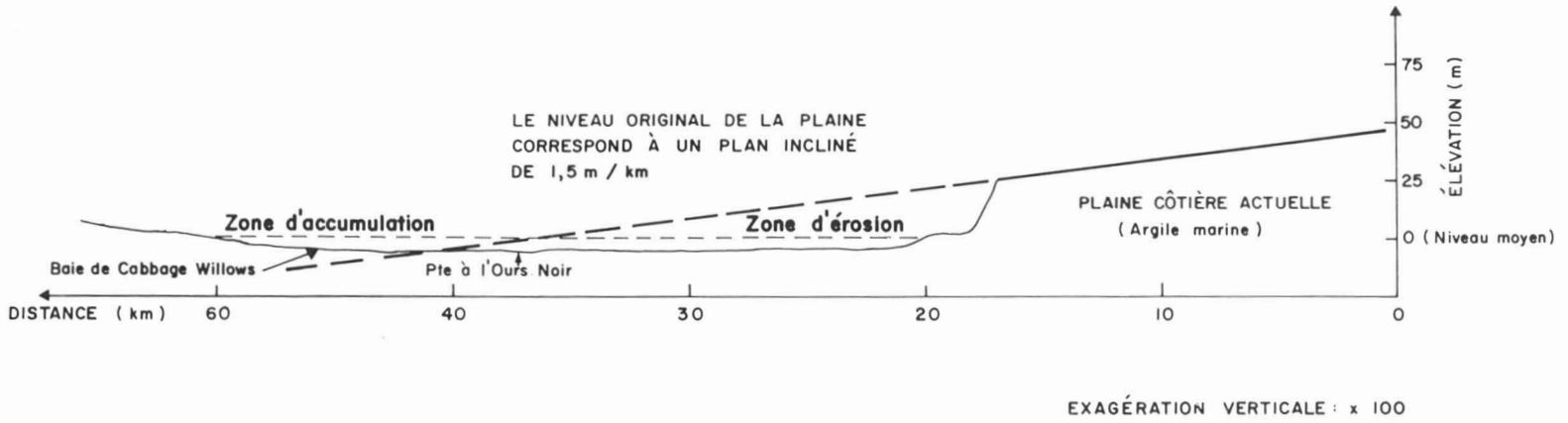


Figure 2. Baie de Rupert. Projection du plan original de la surface de la plaine côtière.



(Hardy, 1976). Ce ralentissement majeur a donc permis aux différents processus d'érosion d'agir plus lentement à un même niveau. Il en est résulté un creusement progressif des dépôts quaternaires qui remplissaient jadis la dépression. L'érosion des formations argileuses s'est en quelque sorte faite au rythme du relèvement isostatique. Depuis les derniers millénaires, le bilan sédimentaire moyen de la baie de Rupert aura donc été négatif dans toute la section où les argiles ont été excavées pour permettre la formation de la dépression actuelle.

L'émersion du terrain se poursuit actuellement à un rythme d'environ 3 mm/an (Hardy, 1976). C'est sûrement l'un des facteurs importants contrôlant l'évolution du littoral de la baie de Rupert, car il favorise à long terme la progression des estrans aux dépens de la nappe d'eau.

#### MORPHOLOGIE LITTORALE

Trois types d'estrans caractérisent le littoral de la baie de Rupert. Les deux premiers correspondent à des rives basses tandis que le troisième type correspond à une rive escarpée. Le premier type d'estran caractérise la côte est et sa pente moyenne est inférieure à 0,5%. Sur le bas estran, on retrouve une slikke vaseuse dont la largeur varie de 200 à 800 m. Toutefois, l'argile de la mer de Tyrrell affleure sur plus de la moitié de la superficie de la slikke. De couleur gris-bleu, l'argile tyrrellienne est composée de limon argileux et d'un peu de sable. Elle s'altère en surface et a une consistance molle sur 20 à 30 cm d'épaisseur. Dans la partie supérieure, c'est-à-dire à proximité du schorre, la surface de la slikke est recouverte d'un mince placage de sable fin de 5 à 30 cm d'épaisseur. Par endroits, notamment près des pointes, de gros blocs d'origine glacielle gisent dans ce dépôt superficiel vaseux ou sableux. Le contact entre la slikke et le schorre moyen est graduel et sinueux. La surface du schorre moyen est colonisée par des groupements végétaux hydrophiles, notamment par le scirpe américain (*Scirpus americanus* Pers), et elle est découpée par de nombreuses mares glacielles (Lacoursière & Maire, 1976). Des mesures sur l'évolution de la limite supérieure du schorre moyen, qui est marquée par un petit cordon de plage, indiquent une progression vers la mer variant entre 30 et 50 m en 15 ans (photos asynchrones au 1 : 15 840, 1953 et 1968). Les limites du schorre supérieur sont facilement repérables sur les photos aériennes, car

elles sont soulignées par des cordons de plage, celui situé sur la partie supérieure étant naturellement le plus ancien. Dans la partie la plus haute du schorre supérieur, la périodicité plus grande des inondations par les marées ou par les ondes de tempêtes permet, entre autres, une colonisation par la saulaie.

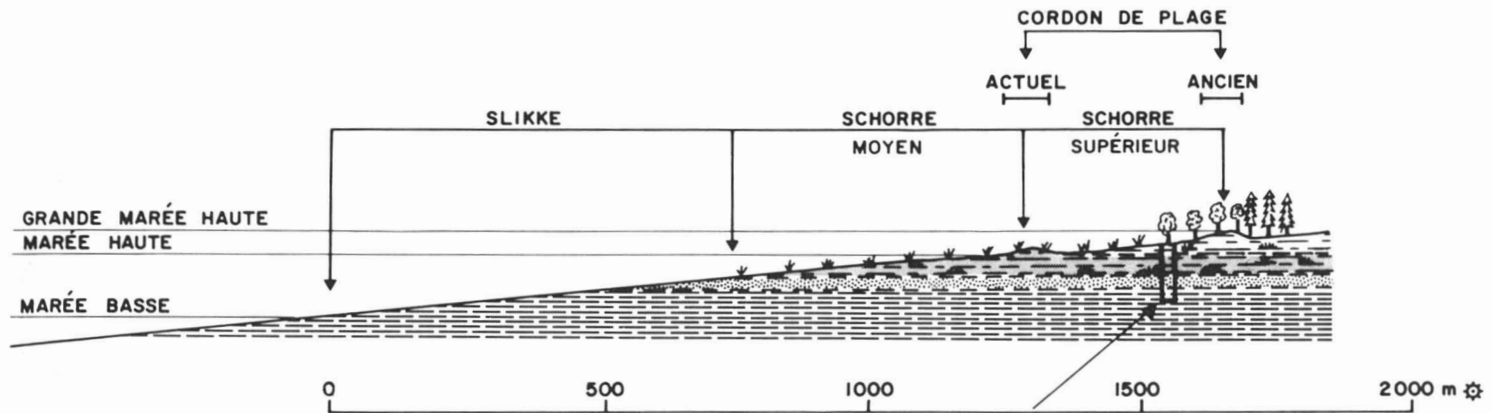
Le deuxième type de littoral correspond à l'estran de la baie de Cabbage Willows, sur la côte ouest. Sa zonation est commandée en grande partie par le marnage. Il se différencie des estrans de la côte est par sa pente beaucoup plus faible, de l'ordre de 0,05%, par l'absence de cordons de plage dans le schorre et par une granulométrie plus fine des sédiments. L'estran de cette baie couvre une superficie d'environ 62 km<sup>2</sup>. Le schorre moyen et la slikke sont parcourus par un réseau ramifié de chenaux de marée dont l'encaissement peut atteindre 100 cm.

Enfin, le troisième type de littoral est associé à un talus, en général actif. La hauteur moyenne des talus d'érosion observés est de 3 à 4 m. Elle atteint 8 à 9 m pour le talus situé sur la rive gauche, à l'embouchure de la rivière Nottaway et 10 à 16 m pour le talus situé en aval du village de Fort-Rupert. Les talus sont bordés d'un estran étroit, sculpté à même les dépôts argileux de la mer de Tyrrell. Dans la partie supérieure de l'estran, on peut observer de minces placages de sable formant des plages.

Certaines sections du littoral ne correspondent pas aux divers types d'estrans déjà décrits. Ainsi, la pointe à l'Ours Noir est composée de blocs et de cailloux. Elle correspond à une pointe de till où la fraction fine a été lessivée par les agents littoraux. Sur les estrans, de part et d'autre de cette pointe, on retrouve une concentration élevée de blocs glaciels, imputable à leur disponibilité locale. Près de l'embouchure de la rivière Octave, la côte a été façonnée à même le dépôt sablonneux de la moraine interlobaire d'Harricana (Hardy, 1976). Des sondages y ont révélé la présence d'un mince placage de vase molle reposant sur un sable fin à moyen, très compact.

#### Stratigraphie des différents types de rives

Cette analyse porte sur plus de 20 coupes stratigraphiques, de nombreux sondages à la tarière et près de 300 analyses granulométriques. Les coupes stratigraphiques les plus représentatives des divers milieux sont décrites.



⊛ LA FIGURE N'EST PAS À L'ÉCHELLE

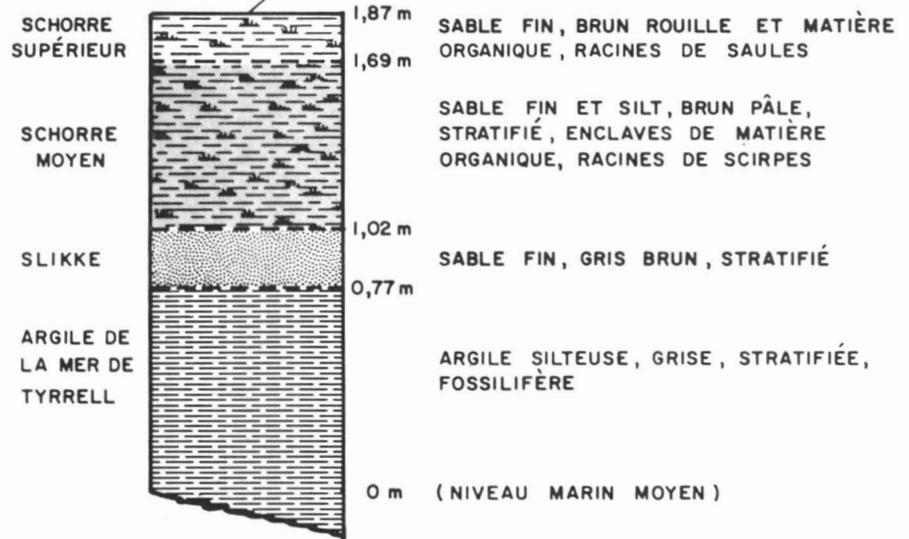


Figure 3. Représentation schématique de la stratigraphie d'un estran de la côte est de la baie de Rupert.

## STRATIGRAPHIE DES ESTRANS DE LA CÔTE EST

Une coupe schématique d'un estran de la côte est (fig. 3) comprend les unités suivantes : 1) à la base, l'argile de la mer de Tyrrell, qui se confond avec l'ancienne surface d'érosion sur la slikke, dépôt formé de silt argileux stratifié, fossilifère, comportant jusqu'à 15% de sable fin ; 2) une unité de 25 cm de sable fin, gris-brun, stratifiée, elle-même surmontée de 67 cm de sable et de limon brun pâle, stratifié, comportant de nombreuses enclaves de matière organique et des rhizomes de scirpe. L'horizon supérieur de la coupe est caractérisé par un sable fin brun roux entremêlé de racines de plantes et de matière organique. Il s'agit d'un sol forestier. Ce dernier horizon correspond au dernier stade de la sédimentation sur le haut estran. On remarque que l'accumulation de matériaux est plus importante au niveau du schorre moyen, probablement à cause du piégeage des particules par les tiges de scirpe. Trois autres coupes semblables à celle-ci confirment la dominance de ce type de succession sur la côte est. Nulle part, l'accumulation récente de sable et de limon sur l'argile marine ne dépasse 150 cm d'épaisseur.

Les vagues jouent un rôle prépondérant dans la dynamique de ce littoral, les matériaux plus grossiers étant repoussés par elles sur le haut de l'estran. D'ailleurs, ce rôle est souligné par la présence de nombreux cordons de plage sur cette côte.

## STRATIGRAPHIE DE LA BAIE DE CABBAGE WILLOWS

Les analyses granulométriques effectuées sur les sédiments de surface dans la baie de Cabbage Willows indiquent une forte prédominance d'argile limoneuse avec un peu de sable. La localisation des prélèvements sur des transects qui recoupent les différentes unités morpho-sédimentologiques de l'estran a permis d'identifier une séquence granoclassée des matériaux. En effet, la fraction de sable et de silt est plus importante sur le bas estran (15 à 30%) que sur le haut estran qui, lui, contient généralement moins de 15% de sable. Il y aurait donc une zonation transversale des matériaux sur l'estran, suivant une diminution graduelle de la taille des particules lorsque l'on progresse du bas vers le haut estran. Ce type de séquence granoclassée est caractéristique de sédiments mis en place par les courants de marée sur les estrans où le rôle des vagues est peu important (Reineck &

Singh, 1976). Le mécanisme est le suivant : la vitesse du flot s'amortit progressivement par friction sur l'estran et dépose en premier les plus grosses particules sur le bas estran, tandis que les particules fines sont transportées plus haut sur l'estran.

La figure 4 illustre de façon schématique la stratigraphie de la baie de Cabbage Willows. A la base de la coupe, on observe un sédiment formé de limon argileux brun foncé qui ne renferme que des *Macoma balthica*. Ce matériau est surmonté de 15 cm de sable limoneux, également fossilifère, puis de 58 cm d'argile limoneuse brun foncé comportant de nombreuses tiges et rhizomes de scirpes. Le haut de la coupe est constitué d'un tapis organique peu décomposé avec un peu de limon et d'argile.

On a prélevé des coquillages dans l'unité de base qui correspondait vraisemblablement à l'ancienne slikke. La datation au radiocarbone a donné un âge de  $1\ 660 \pm 200$  ans B.P. (G.S.C.-3121). La marge d'erreur assez grande s'explique par la petite quantité de coquillages soumis à l'analyse. Comme l'échantillon a été prélevé à 1,30 m sous la surface actuelle du schorre supérieur, cela impliquerait que le taux de sédimentation, pour l'ensemble de la séquence, est inférieur à 1 mm/an. Cette valeur est minimale, car elle intègre le taux de sédimentation très faible sur le schorre supérieur et le taux plus élevé sur le schorre moyen et la slikke.

## Conclusion

Suite à l'analyse des divers types d'unités morpho-sédimentologiques et de leur stratigraphie, on a identifié trois grands modes de façonnement des littoraux dans la baie de Rupert.

Le premier mode concerne la sédimentation des particules de la taille des sables sur les estrans d'étendue moyenne. De nombreuses coupes ont démontré que les accumulations de sable ne dépassent pas 1,5 m sur la surface érodée de l'argile de la mer de Tyrrell. Présentement, cette argile marine affleure dans la zone interdite correspondant à la slikke de ces estrans et elle est érodée par les vagues, les courants de marée et possiblement les glaces. L'érosion de cette argile est facilitée par son altération à la surface, ce qui lui fait perdre toute cohérence comme le démontre la tranche de 5 à 30 cm de matériaux non cohérents à la

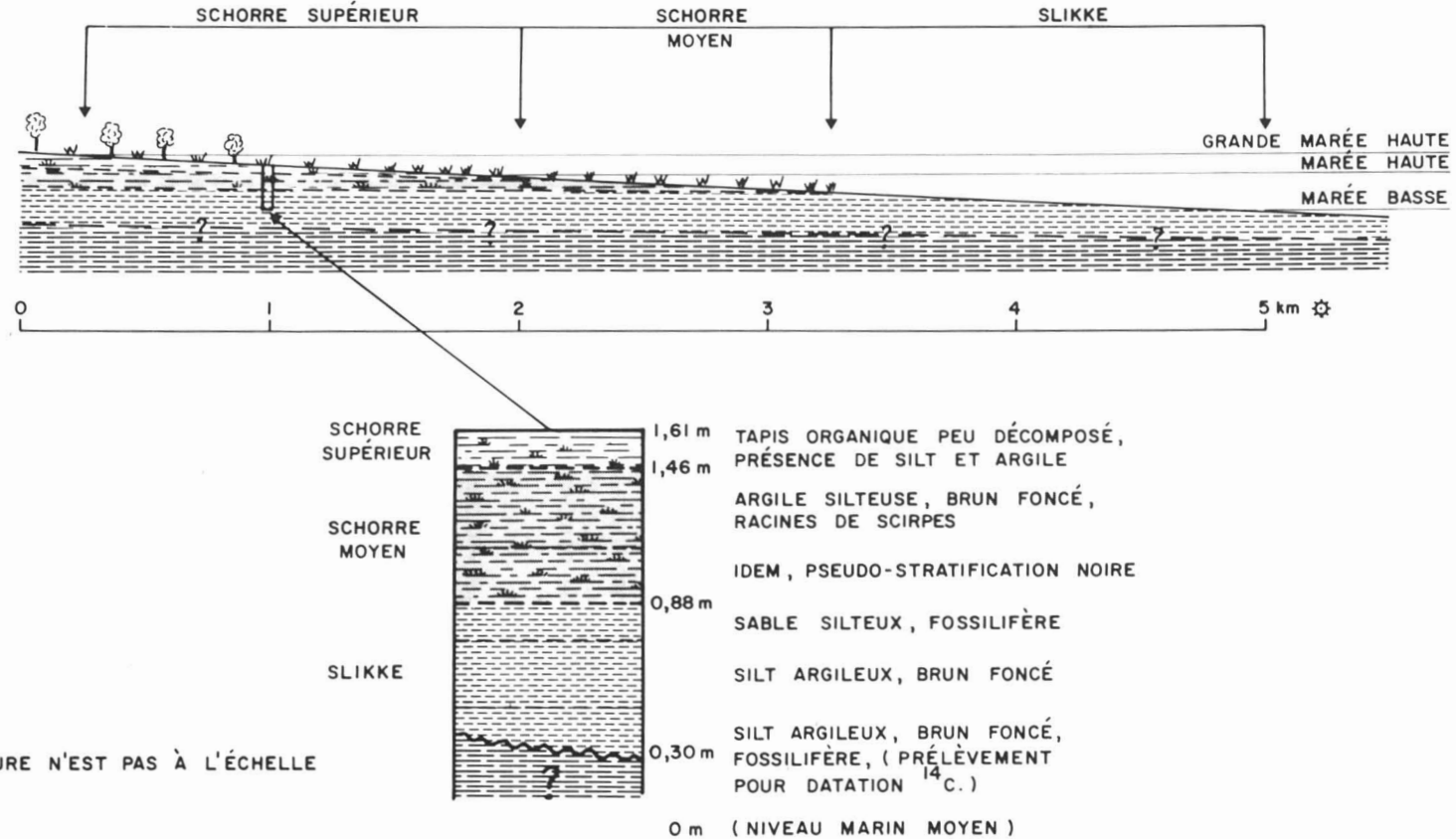


Figure 4. Représentation schématique de la stratigraphie de l'estran de la baie de Cabbage Willows.

surface. La fraction fine du sédiment est remise en suspension et est évacuée par le jusant. La fraction plus grossière qui contient jusqu'à 15% de sable fin tend, pour sa part, à s'accumuler sur le haut estran, principalement au niveau du schorre où elle est piégée par la végétation. L'examen de photographies aériennes asynchrones a montré, sur la côte est, une progression vers la mer de la limite du schorre supérieur de ce type d'estran. Celle-ci serait contrôlée par le relèvement isostatique et par la hauteur du cordon de plage qui borde cette unité et qui sert de digue. Ce dernier empêcherait, à l'occasion, l'envahissement du schorre supérieur par les grandes marées, ce qui en permettrait l'assèchement progressif. La présence de sable sur le haut estran confirme le rôle des vagues dans le façonnement de ce type de littoral. Selon Postma (1967), la présence de sédiments grossiers de la taille des sables sur le haut estran ne peut s'expliquer par un transport par les courants de marée, car ces derniers sont amortis sur toute la largeur de l'estran. Ils seraient plutôt dus à un remaniement par les vagues.

Le deuxième mécanisme concerne l'invasement des estrans par des particules de la taille des limons et des argiles. Ce type de sédimentation est lié à la décantation des particules transportées en suspension par les courants de marée. Il n'a été observé que dans la baie de Cabbage Willows. Les deux coupes stratigraphiques réalisées au droit des estrans de cette baie n'ont pas permis d'observer de discontinuité dans la sédimentation récente. Deux hypothèses peuvent être formulées. Selon la première, cette discontinuité existe réellement, mais se trouve à une profondeur supérieure à celle observée dans les autres sites inventoriés sur le pourtour de la baie de Rupert. Selon la deuxième, il n'existe pas de discontinuité dans la sédimentation post-glaciaire à cet endroit et la mise en place de matériaux fins s'y poursuit toujours. La deuxième hypothèse semble plus vraisemblable. Elle appuie l'assertion de départ, à savoir qu'il y aurait sédimentation au nord-ouest d'une ligne intersectant le prolongement du plan incliné de la plaine côtière et le niveau géodésique 0. D'ailleurs, D'Anglejan (1980) mentionne qu'il y aurait sédimentation dans le fond de la baie de Rupert de part et d'autre de l'île du Cerf, une zone située, elle aussi, au nord-ouest de cette intersection. Malheureusement, une seule datation au radiocarbone

permet d'évaluer le taux d'envasement moyen de la baie de Cabbage Willows. Néanmoins, il appert que l'évolution de cet estran semble davantage lié au relèvement isostatique (3 à 5 mm par an, Hardy, 1976) qu'au rythme d'envasement mesuré, soit 1 mm par an.

Le troisième mécanisme concerne l'érosion des talus argileux sur de nombreuses sections du littoral. Le processus est le suivant : lorsque la marée baisse, la mince pellicule d'argile située au pied du talus s'assèche et se fissure ; elle perd ainsi une partie de sa cohésion, ce qui la rend vulnérable à l'érosion par les vagues lors de la montée subséquente du plan d'eau. Le sapement du pied du talus redresse donc la pente et crée une instabilité qui provoque des éboulements et des glissements. Les courants de marée ne serviraient donc qu'à évacuer le matériel érodé par les vagues et éboulé sur l'estran. Les divers mécanismes responsables de l'érosion des talus argileux en milieux froids demeurent néanmoins mal connus. Par exemple, on connaît mal le rôle de cycles de gel-dégel sur l'altération des argiles.

Ainsi, la dynamique littorale de la baie de Rupert est complexe et dépend de nombreux facteurs. Le plus important d'entre eux est, sans contredit, le relèvement isostatique du terrain, qui favorise le développement des estrans aux dépens de la mer. L'autre facteur important semble être le rôle prépondérant des vagues dans le façonnement des littoraux de la côte est et de certaines sections de la côte ouest. Cependant, le rôle des vagues est limité par la faible profondeur de la baie, qui ne permet pas aux vagues d'atteindre une amplitude significative. Cela expliquerait pourquoi on ne retrouve pas, sur le littoral étudié, de milieux à haute énergie, comme il en existe à quelques endroits sur le littoral de la baie James (Dionne, 1980).

## Références

- ALLARD, M. & P. CHAMPAGNE, 1980. Dynamique glaciaire à la Pointe d'Argentenay, île d'Orléans, Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 34 : 159-174.
- BOSTOCK, H., 1970. Physiographic sub-divisions of Canada — Pages 9-30 in R.J. Douglas (ed). *Geology and economic minerals of Canada*, Geological Survey of Canada, Report 1, 5<sup>th</sup> ed., 838 p.
- CHAMPAGNE, P., 1980. Étude de la morphologie littorale de la baie de Rupert et évaluation des impacts selon les variantes d'aménagement. — Les Consultants SOGEAM, rapport à la Société d'Énergie de la Baie James. Montréal. 71 p.

- D'ANGLEJAN, B., 1977. Études sédimentologiques et géochimiques de la baie de Rupert. — GIROQ, Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 92 p.
- D'ANGLEJAN, B., 1978. Études physiques et sédimentologiques sur la baie de Rupert en 1978. — GIROQ, Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 126 p.
- D'ANGLEJAN, B., 1980. Effects of seasonal changes in the sedimentary regime of a sub-arctic estuary, Rupert Bay (Canada). — *Sedimentary Geol.*, 26 : 51-68.
- DIONNE, J.C., 1976. L'action glacielle dans les schorres du littoral oriental de la baie de James — *Cah. Géogr. Québec*, 20 : 303-326.
- DIONNE, J.C., 1978. Le glacier en Jamésie et en Hudsonie, Québec subarctique. — *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 3-70.
- DIONNE, J.C., 1980. An outline of the eastern James Bay coastal environment. — Pages 311-338 in S.B. McCann (ed.). *The coastline of Canada*, Geological Survey of Canada, Paper 80-10.
- HARDY, L., 1976. Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses-terres de la baie de James. — Thèse de Ph.D., Université McGill, Montréal, 264 p.
- HAUSSER, R. & R. BOIVIN, 1978. Estuaires des rivières Rupert et Broadback. Étude de l'hydraulique des glaces. — Laboratoire d'Hydraulique Lasalle, Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 25 p.
- LACOURSIÈRE, E. & A. MAIRE, 1976. Etude écologique et cartographie de la végétation du littoral de la baie de Rupert. — Rapport à la Société de Développement de la Baie James, Direction Environnement, Montréal, 76 p.
- LAVERDIÈRE, C. & P. GUIMOND, 1975. Le milieu bio-physique de la baie de Rupert. — Rapport à la Société de Développement de la Baie James, Direction Environnement, Montréal, 158 p.
- MICHEL, B., 1978. Études des conditions de glace dans la baie de Rupert. — Arctec Canada Ltée, Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, Montréal.
- OUELLET, Y., 1977. Étude à l'aide d'un modèle mathématique de la circulation hydrodynamique, de la propagation de la marée et de la distribution de la salinité dans la baie de Rupert. — GIROQ, Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 24 p.
- POSTMA, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. — Pages 158-179 in G. Lauff (ed.). *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science.
- REINECK, H.E. & I.B. SINGH, 1976. *Depositional sedimentary environments*. — Springer-Verlag New-York, 439 p.

## SEDIMENTARY CHARACTERISTICS OF THE COASTAL ENVIRONMENT OF NORTH POINT, ONTARIO

K. E. CLARKE, I. P. MARTINI

*Department of Land Resource Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1*

and

W. A. GLOOSCHENKO

*Aquatic Ecology Division  
National Water Research Institute  
Burlington, Ontario L7R 4A6*

### Résumé

North Point, vaste promontoire de 2 à 3 km de largeur, est constitué d'un substrat de calcaires cristallins d'âge paléozoïque et, par endroits, dans les dépressions, de sédiments fins limoneux mis en place dans la mer de Tyrrell. Il existe divers environnements littoraux à cet endroit allant de surfaces rocheuses intertidales à modelé glaciaire, aux slikkes et schorres localisés dans les rentrants abrités au nord, et aux larges estrans sableux (wadden) parfois séparés des schorres par des cordons littoraux dans le secteur sud. La plupart des zones intertidales du sud sont protégés des grosses tempêtes par un haut-fond (crête externe) situé à environ 2 km du rivage et orienté obliquement au littoral. Du côté interne de la crête pré-littorale, on trouve une zone infra-tidale à *Zostera marina* de 500 m de largeur contiguë à la slikke et au schorre.

Les propriétés physico-chimiques des sédiments intertidaux et du schorre sont fortement influencées par les marées; on y observe des gradients latéraux liés à la fréquence et à la durée de submersion. Des corrélations négatives entre la teneur en sable et en limon ( $r = 0,846$ ,  $P < 0,001$ ), ainsi que des corrélations positives entre la teneur en argile et l'élévation ( $r = 0,7097$ ,  $P < 0,01$ ) traduisent la séquence bien développée de décroissance granulométrique vers le continent, caractéristique de la sédimentation tidale. Dans le schorre, les sédiments sont influencés par la végétation, la topographie et le réseau de drainage. Bien que les propriétés chimiques des sédiments varient beaucoup selon les saisons, il n'existe pas de tendances nettes. La corrélation est positive entre l'élévation du schorre et son contenu en carbone organique ( $r = 0,613$ ,  $P < 0,01$ ), et négative entre le pH et la conductivité électrique ( $r = 0,780$ ,  $P < 0,001$ ), même si cette dernière fluctue beaucoup selon la submersion tidale, les précipitations et l'évaporation. On observe de grandes différences latérales de la moyenne du potentiel d'oxydo-réduction associé au réseau de drainage. On observe avec constance des conditions de réduction dans les endroits du schorre où l'eau stagne, où la conductivité électrique est élevée et où les submersions tidales sont fréquentes.

### Abstract

North Point is a 2-3 km wide promontory underlain by crystalline Paleozoic carbonates and locally, in swales, by gray silty shales of the early post-glacial Tyrrell Sea. Several environments have developed around the promontory ranging from intensely ice-gouged rocky intertidal areas on the crest, to wide tidal flats and marshes in protected areas to the north, and wide sandy flats locally separated from the marshes by longitudinal beach ridges to the south. Much of the southern tidal flats are protected from intense storms by an intertidal shoal (outer ridge) located approximately 2 km offshore and running at a high angle from the mainland. In its landward flank, the outer ridge encloses a 500 m wide elongated shallow subtidal *Zostera marina* zone which is followed by the maximum extension of the southern tidal flats and the salt marsh.

The physico-chemical properties of the intertidal and salt marsh sediments are strongly influenced by tides, and many exhibit lateral gradients associated with the frequency and duration of tidal inundation. Negative correlations between sand and silt content ( $r = -0.846$ ,  $P < 0.001$ ), and positive correlations between clay content and elevation ( $r = 0.7097$ ,  $P < 0.01$ ) reflect the well developed sequence of landward fining in grain size which is directly related to tidal deposition. In the salt marsh the sediments are also affected by vegetation, topography and drainage pattern. Strong seasonal changes occur in chemical properties of the sediments, but there are nonetheless well-defined trends. Elevation of the marsh is positively correlated with organic carbon content ( $r = 0.613$ ,  $P < 0.01$ ), and negatively correlated with pH ( $r = -0.780$ ,  $P < 0.001$ ) and electrical conductivity, although this last variable varies greatly depending on tidal inundation, precipitation and evaporation. There exist strong lateral differences in average Eh which are associated with drainage patterns. Reducing conditions are consistently recorded in marsh zones which retain standing water, have high electrical conductivities and are subject to frequent tidal inundation.

### Introduction

North Point is located 17 km northeast of Moosonee ( $51^{\circ}29' N$ ;  $80^{\circ}27' W$ ) on the southwestern coast of James Bay (Fig. 1). It contains many features which are typical of subarctic coastal systems and specifically of James Bay. Onshore gradients ( $0.5$ - $1.0$  m/km) and relatively rapid isostatic rebound of approximately  $0.75$ - $1.25$  m/century have combined to produce a young emergent coastline which contains wide sandy tidal

flats and highly stratified salt marshes (Barnett, 1966; Hunter, 1970; Martini, 1981). The area is an important staging ground for migratory waterfowl and shorebirds, and has for several years been the centre of interdisciplinary research ranging from coastal sedimentology, to plant ecology, and shorebird banding (Glooschenko, 1978; Glooschenko & Martini, 1978; Martini & Protz, 1978; Martini *et al.*, 1979, 1980). However there is as yet little understanding of the interacting climatic, physico-chemical and

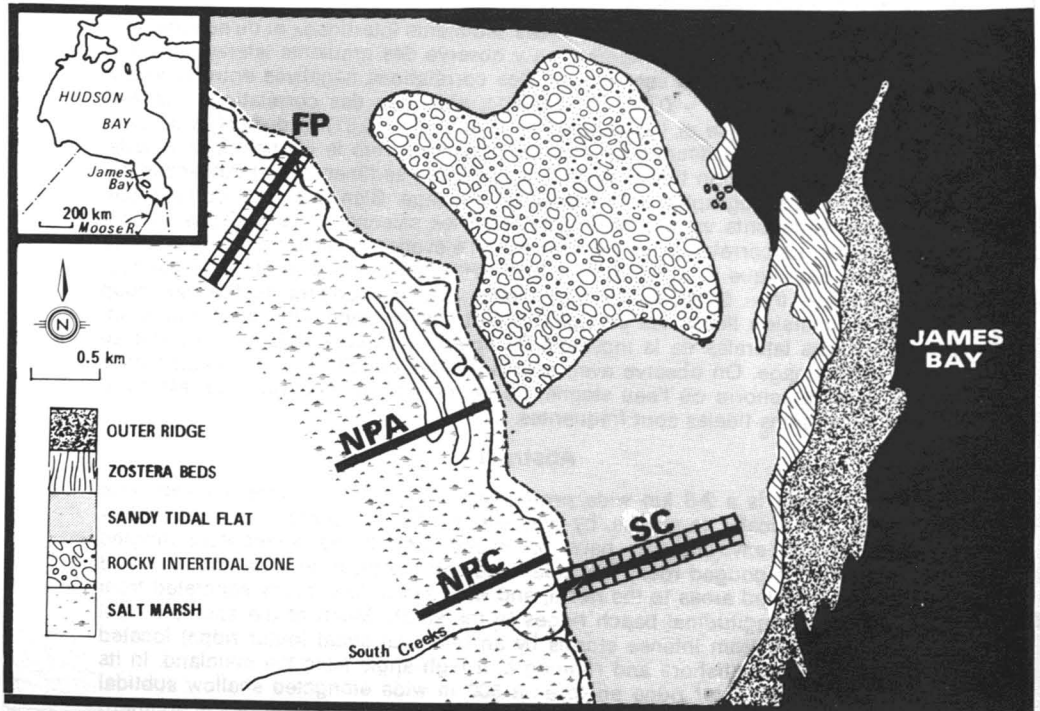


Figure 1. Location map of the study transects.



biological processes which have shaped, and continue to modify the coastal ecosystem.

The coastal sediments provide a growth medium for vegetation and benthic organisms. Thus, an understanding of sedimentary properties represents a first step towards understanding the coastal environment. Accordingly, this paper attempts to describe the physico-chemical properties of the coastal sediments and to examine various factors which affect them both locally and seasonally.

### Physical setting

North Point is a wide complex promontory underlain by fossiliferous carbonates of the Stopping River formation of the lower Devonian age (Sanford *et al.*, 1968). It bounds the northern entrance of the large shallow embayment occupied by the Moose River. This embayment received a relatively thick deposit of marine silty clay during the early stages of the post-glacial Tyrrell Sea that covered the whole of the Hudson Bay lowland about 7500 years ago (Lee, 1960; Craig, 1969). The clay overlies thin lacustrine deposits which in turn cover glacial tills. At North Point the carbonate bedrock is covered by relatively thin (10 to 150 cm) recent coastal deposits, although scattered outcrops occur. Because of the differential resistance of the bedded bedrock to pre-Pleistocene and Pleistocene erosion, the bedrock surface presents a shallow but varied topography.

Modern coastal processes have acted on the bedrock surface to form several distinct environments at North Point (Fig. 1, 2): (1) A wide rocky zone exists at the tip of the promontory where bedrock outcrop or near outcrop conditions occur. This area is covered by frost-shattered carbonate slabs and boulders and local isolated Precambrian erratics. (2) A long relatively narrow bedrock high, known as the 'Outer Ridge' trends northward from the low tide mark, protecting more landward areas from the strongest offshore waves. The ridge is covered with coarse sand and carbonate and Precambrian boulders. A shallow subtidal pool (0.5 km wide) has developed immediately landward of the outer ridge. It contains *Zostera marina* vegetation and a rich benthic community. (3) Wide sand flats develop to the north and south of the promontory and in shallow re-entrances be-

tween the boulders at the promontory itself. The flats may contain relatively thick (1 to 3 m) deposits. Precambrian boulders and ice rafted pebbles of carbonates and metamorphic rocks are scattered throughout. (4) Salt marshes develop landward of the flats. The marshes that develop north of the promontory are intensely gouged by ice and develop a complex pattern of large pools, while those south of the promontory have fewer pools, and are crossed by freshwater creeks that drain the coastal fens and the marshes. The marshes that develop at or near the apex of the promontory contain sandy and gravelly (fine to medium pebbles) beach ridges. The salt marshes grade landward into freshwater marshes, fens and forested inland ecosystems.

### Oceanography and climatology

The western coast of James Bay is subjected to mesotidal conditions, and not greatly affected by waves except during occasional storm surges. Longshore drift associated both with refraction of waves against the promontory, and a steady slow moving anticlockwise marine current is responsible for the regional and local redistribution of sand and finer material and the development of wide silty and sandy tidal flats in sheltered sedimentary sinks along this coast. At North Point, tidal waters have a salinity of 4-13‰ (Clarke, 1980).

The climate of southern James Bay is within the humid subarctic zone of Albany, and is classified as Dcf (humid microthermal subarctic) under the Köppen system (Chapman & Thomas, 1968). Winter temperatures average -16°C (January) and summer temperatures average 15°C (August). Annual precipitation averages 650 mm, 240 mm of which are snow. The frost free season averages 80 days, and extends from mid-June to early September (Environment Canada, 1978). The bay freezes over for six months beginning in late October to early November. Spring break-up depends on prevailing winds which during spring are predominantly northeasterly, storming at 20 to 40 km/h. Sea ice may cool the coast for an additional two to three months after break-up.

### Experimental design and procedures

The field work for this study was carried out between June 4 and August 22, 1978.

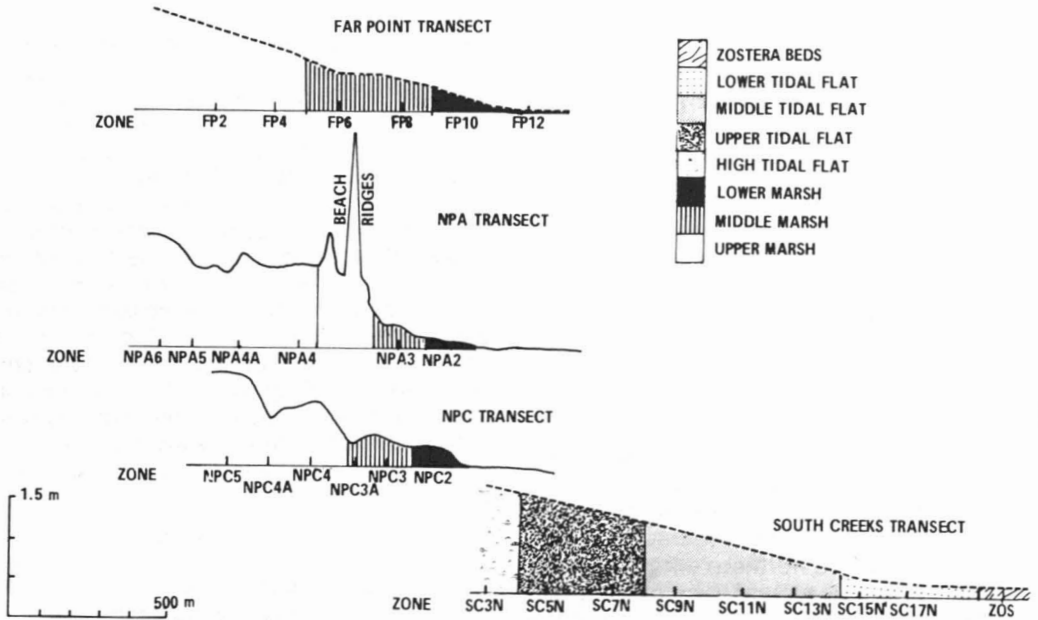


Figure 2. Profiles for the study transects and location of sampling zones.

The coastal environments at North Point were analyzed in detail along four transects (Figs. 1, 2). One transect was surveyed along the sand flats and *Zostera* pool south of the promontory itself (SC), and the others in the marshes, south of (NPC), at the apex (NPA) and north of the promontory (FP). The tidal flat transect (SC) was subdivided into two rows of contiguous one-hectare plots, numbered consecutively. Sediment samples were taken every 200 m intervals in uneven-numbered northern plots (Fig. 1). The *Zostera marina* pool was considered one sampling plot. The salt marsh along the NPA and NPC transects was divided into 6 zones based on vegetation composition (Fig. 1,2). Within each zone a visually homogeneous  $10 \times 10$  m sampling plot was staked in order to reduce errors due to within-zone variability in microhabitat conditions (Breton, 1971; Lacoursière & Maire, 1976). Only ponds were studied on the FP transect. This transect was subdivided into two rows of contiguous one-hectare plots, with each plot containing 15 to 25 ponds. The ponds of even numbered plots (southern row) were sampled. Elevations for FP were estimated since no survey data was available.

Temperature, salinity, and electrical conductivity of the ponds (FP transect) were recorded at monthly intervals, utilizing

an YSI Salinity-Conductivity-Temperature meter. Three ponds per zone were sampled.

The marsh sediments on the NPA and NPC transects were studied by monthly measurements of pH, Eh, and temperature at three random sites in each zone at a depth of 5 cm in the soil profile. A Metrohm pH-Eh Meter (model E-488) with a platinum electrode was used. The instrument was calibrated using buffer solutions of pH 2, 7 and 11. The unconfined shear strength of the sediments of the salt marshes (NPC and NPA) and ponds (FP) were measured in July and August using a pocket Soil Test Penetrometer.

On the tidal flats (SC transect), sedimentation rates were obtained from the lower, middle and high flat by implanting nests of three rods each on July 3 and measuring the net amount of ground level variation on August 18. The structures and physico-chemical properties of the tidal flat sediments were sampled twice over the summer using Senkenberg core boxes ( $15 \times 15 \times 20$  cm) (Bouma, 1969).

Grain size (based on 10 g sub-samples), electrical conductivity (2:1 water sediment solution), and calcium carbonate equivalent (for material finer than  $250 \mu\text{m}$ ) were measured in the laboratory utilizing the soil techniques described by McKeague (1976).

The organic carbon content of the sediments was also determined. Frozen samples were air-dried, ground through a 100  $\mu\text{m}$  sieve, then oven dried at 90°C for 24 hours. Two sub-samples of 0.5 g each were analyzed, one in a Leco Combustion Furnace to determine total carbon, and the second in a Gallenkamp Muffle Furnace fired at 500°C for 36 hours to burn off the organic matter. The inorganic carbon content of the second sample was then measured in the Leco Furnace, and organic carbon was determined by difference (Thomas, pers. comm.). Standards and replicates were run every 25 samples to determine accuracy and consistency.

Data were analyzed using analysis of variance and linear regression procedures. Raw data were analyzed by residual plots. Those variables exhibiting skewed probability distributions were normalized using common logarithm or square root transformations (Steele & Torrie, 1960; Kleinbaum & Kupper, 1978). A minimum confidence level of 95% ( $P = 0.05$ ) was chosen to indicate statistical significance in tests. All procedures were performed utilizing Statistical Analysis System (SAS) and Biomedical Computer Program (BMDP) packages (Barr et al., 1979; Dixon & Brown, 1979) on the Conversational Monitor System (CMS) on Virtual Machine ADAHC.

## Results

### TIDAL FLAT

The sediments of the shallow subtidal *Zostera marina* zone (ZOS, Fig. 2) are composed primarily of silty sand, with occasional ice rafted pebbles and isolated large erratics. Large numbers of the molluscs *Hydrobia minuta* (=totteni) and *Macoma balthica* reside on the *Zostera* vegetation, on the sediment surface, or are shallowly buried within the sediments (less than 5 cm).

The tidal flats can be divided into three zones on the basis of surficial features, internal laminations and concentration of molluscs and other infauna (Fig. 3): (1) The lower tidal flats (500 m wide) have a regularly rippled, fine to coarse sand surface (ripple wavelength of 4 cm, amplitude 0.5 cm). Shallow tidal pools contain sparse *Ruppia maritima* vegetation. *Macoma balthica* shells are present on the surface, and live *Macoma* burrow to a depth of 4 cm within the sediments. Numerous feeding

stars on the surface identify burrow locations. (2) The middle tidal flats (600 m wide) are subject to more intensive ice scour than the lower flats and *Zostera* pool, however during the summer, as the sediments are reworked by wave and tides, the ice-generated features are buried under silty sand. An accumulation of 30 cm of sand was recorded over the summer. *Macoma* shells and uprooted macroalgae (*Fucus* sp. and *Ulva* sp.) are scattered over the surface. In late July and August, *Macoma* densities are high (average of 10,700/m<sup>2</sup>) and *Hydrobia* is present in densities of 4,500/m<sup>2</sup> (Clarke, 1980). (3) The upper tidal flats contain ice-push mounds, ripples, and shallow drainages gullies (average width of 1 m, depth of 10-20 cm) which originate from marsh creeks. Mats of benthic blue-green algae (*Schizothrix friesii*) cover up to 30% of the sediment surface in the upper 400 m of the upper tidal flats. This upshore area, defined as the "high tidal flat" is a transition zone between the unvegetated flats and the salt marsh (Martini & Protz, 1978; Martini et al., 1980) (Fig. 2). During the summer, algal mats bind the sediments and protect them from wave and tidal erosion. Up to 8 cm of fine sand and silt accumulates in the high tidal flats and macrobenthic groups including Hemiptera (family Corixidae), larval dipterans (family Chironomidae) and Oligochaeta (family Naididae) become established, attaining densities of up to 8,500/m<sup>2</sup> near the creek mouth (Clarke, 1980).

Many of the properties of the intertidal sediments reflect the diurnal tidal inundations (Fig. 3). In the top 5 cm of the profiles, there is a landward decrease in grain size, and an increase in organic carbon content from an average of 0.6% in the *Zostera* zone to 1.7% in the high tidal flat. The electrical conductivity of the sediments reflects the mesohaline conditions of the coastal waters (4-13‰) and averages between 3.3 and 4.4 mmhos/cm. Calcium carbonate equivalent is high (from 25 to 35%) and pH averages 8.3.

### SALT MARSH

*Puccinellia phryganodes* is the colonizing macrophyte of the intertidal areas. It first appears as isolated clumps on the high tidal flats increasing in density landward, until it forms a continuous mat, defined as the lower marsh. This 'colonizing zone' is generally 50 m wide.

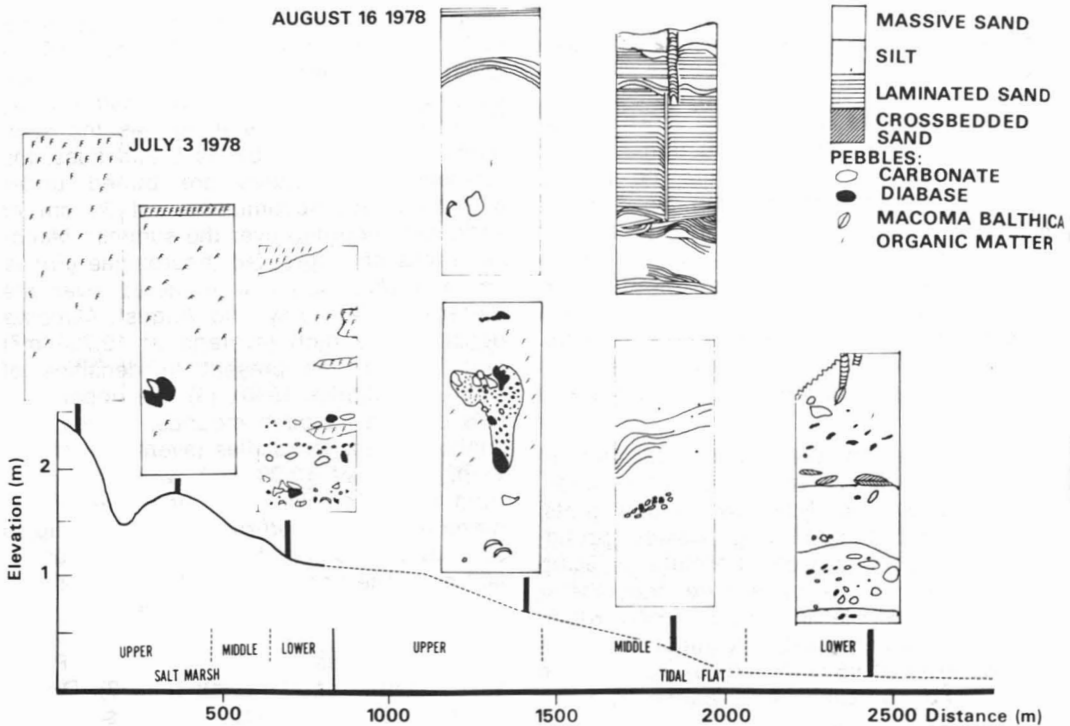


Figure 3. Internal sedimentary features of the tidal flat and salt marsh (upper 20 cm).

The lower marsh is 150-400 m wide (Fig. 2). Shallow pools (10 cm deep) which may cover up to 50% of the area give this zone a characteristic pitted appearance. On NPA and NPC transects the pools remain unvegetated by macrophytes, but trap large amounts of tidal debris such as *Fucus* sp. and *Zostera marina*. On the FP transect, *Ruppia maritima* becomes established in 40% of the pools.

A transition zone (180-300 m), located between the lower and upper marsh, is defined as the middle marsh (Fig. 2). It is characterized by a *Plantago maritima*-*Puccinellia lucida* community. Salt pans, composed of a thin (1 cm) layer of clay underlain by sand and silt, cover up to 10% of this zone on the NPA transect, and tidal ponds are present on the NPC and FP transects. On the FP transect ponds are isolated with water levels of 10 to 20 cm and *Zanichellia palustris* is present in many of them. A series of strand lines of drift-wood and seaweed delineate high spring tide marks and storm surges. On the NPA transect the middle marsh is bounded and subdivided from the upper marsh by two transverse gravel beach ridges with crests which run parallel to the coast (Figs. 1, 2).

The upper marsh is rarely inundated by the tide during the summer months. It contains three distinct vegetational communities which run in broad bands parallel to the coast (Fig. 2). The first upper marsh community is a dry sparsely vegetated zone consisting of small salt pans interspersed with *Triglochin maritima* and *Potentilla egedii* vegetation (NPC4, NPA4, FP4; Fig. 2). On NPC and FP transects, ponds continue into the next upper marsh zone which is characterized by *Carex subspathacea* vegetation (NPC5, FP2; Fig. 2). The lower part of the *Carex-Scirpus* zone (NPA4A) on NPA transect contains a series of long narrow ponds which have been generated by vehicle tracks. A *Juncus-Salix* community delimits the landward extent of the salt marsh and gives way to a freshwater fen system (NPC5, NPA6; Fig. 2).

The sediments of the salt marsh are comprised primarily of poorly sorted massive deposits of silt and clay, with small amounts of sand (Fig. 3). Reduced plant matter is present throughout the upper 20 cm of the profile. Pond sediments are composed of soft structureless silt deposits. In early July the marsh sediments are soft and water-

logged, with shear strengths of 0.50-1.60 kg/cm<sup>2</sup>. By mid-August they are drier, and shear strengths in most zones are 1.50-3.00 kg/cm<sup>2</sup>. In ponds and low-lying zones, such as NPA4 and NPC4A, which retain standing water, shear strength remains low (0-1.00 kg/cm<sup>2</sup>) (Fig. 2).

Most of the chemical properties of the sediments, while exhibiting predictable landward changes, show high seasonal and intrazonal variability (Figs. 4, 5). The electrical conductivity of the salt marsh sediments is highly variable both between and within zones. On NPC transect there is a significant landward decrease in electrical conductivity (Fig. 4), while on NPA no clear lateral trend is discernable. Peak electrical conductivities occur in salt pans (NPA4, NPA5) where values of 8.3-12.5 mmhos/cm were recorded (Fig. 2). Throughout the salt marsh there is a seasonal decrease in the electrical conductivity of most zones, but in the lower marsh of the NPC transect this trend is reversed (Fig. 5).

The electrical conductivity of the pond waters (FP transect) varies significantly both laterally and seasonally. Measurements made in June and July 1978 showed the upper marsh ponds to be significantly more saline (24-30 mmhos/cm) than ponds in other zones (9-16 mmhos/cm), but by August 1978 all the ponds along the transect recorded uniformly low electrical conductivities (3-4 mmhos/cm). The electrical conductivity of the pond sediments, while lower than that of the overlying waters, showed similar lateral trends.

The pH of the salt marsh sediments shows a seasonal increase. In June the pH of all zones is lower than the seasonal average. One very low average (4.5) was recorded in the lower marsh (NPA2) on June 14, 1978. By August the pH in all zones is greater than 7.0. At North Point pH is buffered by the highly calcareous parent material. The calcium carbonate content of most of the marsh sediments ranges from 25-50%. Exceptions occur in the lower marsh and in the *Juncus-Salix* zone (NPC5) where calcium carbonate content ranges between 16 and 24%.

Oxidation-reduction potential, although extremely variable within zones, shows strong lateral and seasonal differences. In most zones the Eh of the top 5 cm of sediment averages 0 mV over the season. In June reducing conditions prevail, but by August most marsh zones are oxidizing.

## Discussion

### AVERAGE SUMMER CONDITIONS

At North Point, the combined effects of low onshore gradients (0.5-1.0 m/km) and crustal uplift rates of 0.75-1.25 m/century (Barnett, 1966; Hunter, 1970) have produced a young dynamic coastal ecosystem which is expanding in a seaward direction. Many of the physico-chemical properties of the sediments exhibit lateral gradients which are associated with the frequency and duration of tidal inundation (Table I).

Negative correlations between sand and silt content ( $r = -0.8457$ ,  $P < 0.001$ ) and positive correlations between clay content and elevation ( $r = 0.7069$ ,  $P < 0.01$ ), reflect a well developed sequence of landward fining in grain size which is directly related to tidal deposition (Table I; Hantzchel, 1939; Van Straaten & Kuenen, 1957; Martini & Protz, 1978). In the upper salt marsh, sedimentation is limited primarily to the fall when storm surges drive tidal waters into the zone to depths of up to 0.5 m (Prevett, pers. comm.) and suspended materials are trapped by the vegetation.

Tidal effects also exert a major influence on the chemical properties of the sediments. Landward increases in average organic carbon content are significantly correlated with elevation ( $r = 0.6127$ ,  $P < 0.01$ ) and clay content ( $r = 0.6492$ ,  $P = 0.01$ ; Table I). The high densities of deposit feeding molluscs associated with the *Zostera* beds suggest that a large amount of organic matter is formed in this zone, however analyses show that little is incorporated into the sediments (0.6%). It appears that most of the organic carbon is removed by the tide. In the lower and middle tidal flats, the higher organic carbon content is associated with increasing clay content. Clays provide attachment sites for organic compounds and micro-organisms from which organic carbon is derived (Newell, 1965; Green, 1968; Eltringham, 1971; Anderson, 1972). In the high tidal flats benthic algal mats provide an additional source of organic carbon.

In the salt marsh, organic carbon content increases significantly ( $P < 0.006$ ) landward from the lower marsh. Despite the large input of tide-transported material into the lower marsh, there is little accumulation of organic carbon in the sediments. Organic compounds produced by plant decomposition are quickly leached from the sandy

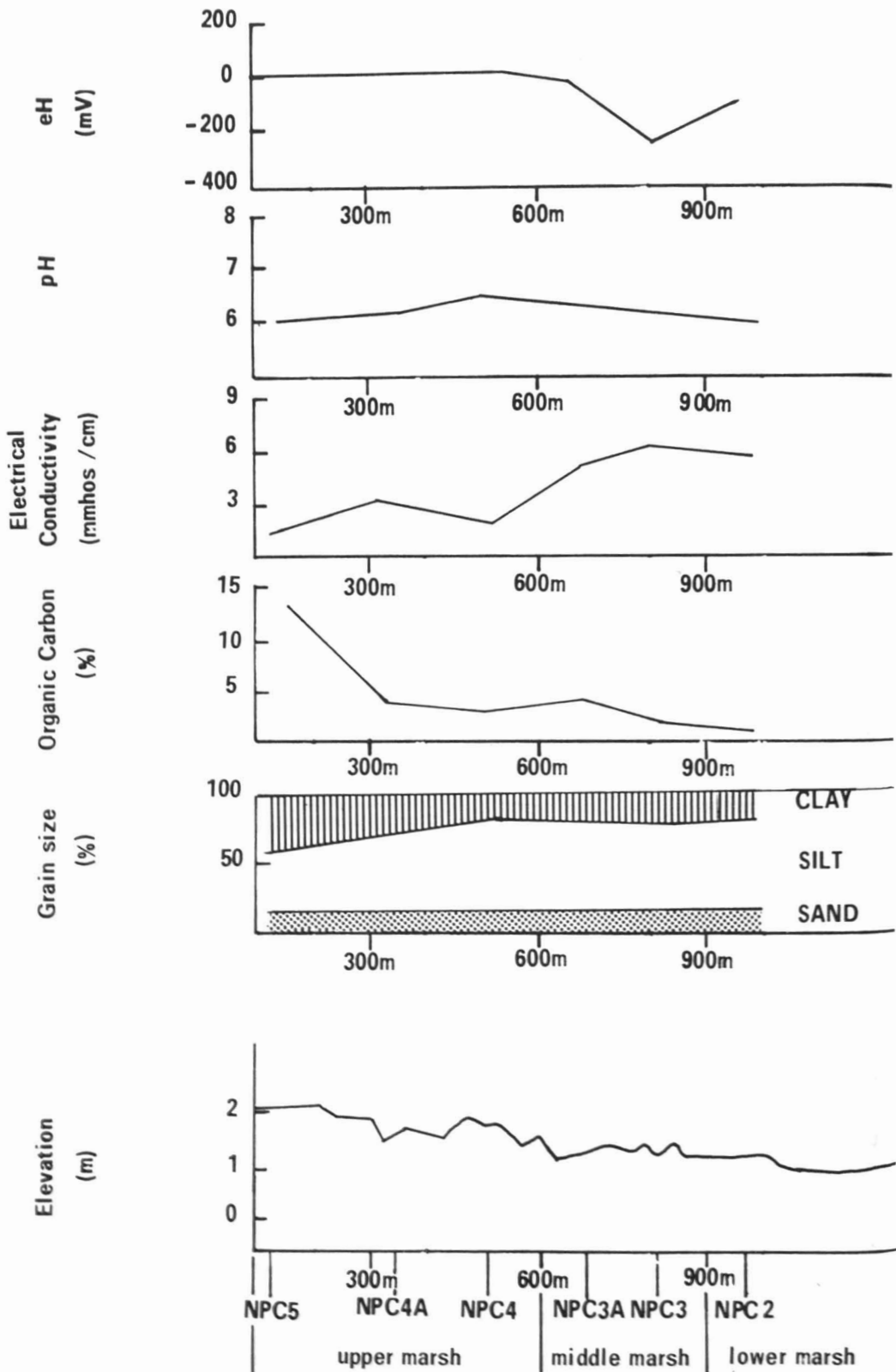


Figure 4. Seasonal averages of selected environmental variables — NPC transect 1978.

TABLE I  
Correlation matrix of environmental variables

<i>Variable</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Clay</i>	<i>Organic carbon</i>	<i>pH</i>	<i>Eh</i>	<i>Electrical conductivity</i>	<i>Elevation</i>
Sand	1.000							
Silt	-0.8457***	1.000						
Clay	-0.3745	0.4973	1.000					
Organic carbon	-0.1059	0.3847	0.6492**	1.000				
pH	-0.3190	0.3999	0.5147*	0.4161	1.000			
Eh	0.4464	0.2883	0.1602	0.2927	0.3471	1.000		
Electrical conductivity	-0.4425	-0.4109	-0.2840	-0.4983*	-0.3604	-0.7573***	1.000	
Elevation	0.3085	0.3016	0.7069**	0.6127**	-0.7804***	0.2262	-0.382	1.000

Significance levels of correlation coefficients

\*  $P < 0.05$

\*\*  $P < 0.01$

\*\*\*  $P < 0.001$

sediments. High organic carbon percentages (12.8%) occur in the upper marsh *Juncus-Salix* community of NPC transect, where a thick (8 cm) layer of partially decomposed organic matter is present (Fig. 3, 4). During wet periods fresh water accumulates in this zone, and as a result the sediments remain waterlogged throughout most of the summer, thus favoring preservation of organic matter (Ritchie, 1957; Tyler, 1971a).

There exists a significant negative correlation ( $r = -0.7084$ ;  $P < 0.001$ ) between sediment pH and elevation (Table I). Although most of the coastal sediments are buffered around neutrality by high calcium carbonate contents (25-40%), organic acids produced by decomposing vegetation, such as in both the *Juncus-Salix* zone (NPC5) and the lower marsh, may locally depress pH values (Figs. 4, 5).

The low electrical conductivity of the subtidal and intertidal sediments reflects the mesohaline condition (4‰-13‰) of the coastal waters, but in the salt marsh, sediment salinity is affected by the frequency and duration of tidal inundation, surface topography, drainage, and insolation effects. The electrical conductivity of the salt marsh sediments decreases significantly ( $P < 0.001$ ) landward (Table I). Since the upper marsh is rarely inundated by tides during the summer months, seepage from inland freshwater fens and swamps, and accumulation of rainwater in low-lying areas causes a general desalinization of the sediments. However, on NPA transect, local areas of tide-deposited clay accumulations cause restricted drainage and high evaporation which leads to the formation of small saline pans (Clarke, 1980).

The oxidation-reduction potential (Eh) of the marsh sediments exhibits high within-zone variability which may be the result of sampling procedures. Nonetheless, there are strong lateral differences which appear to be associated with drainage patterns. Low Eh values are consistently recorded in marsh zones which retain standing water or are subject to tidal inundation. High electrical conductivities are associated with low Eh values ( $r = -0.7573$ ;  $P < 0.001$ ). For NPC transect this correlation is a good indicator of tidal inundation gradients; lower marsh sediments which are inundated diurnally remain saline and waterlogged (reduced) compared to those of the upper marsh.

#### SEASONAL VARIABILITY

During spring-thaw, large amounts of water are introduced into the marsh by ice melt and drainage from inland areas, and many zones are partially or completely submerged. Over the summer there is a progressive drying and firming of the sediments, which is accompanied by an increase in vegetative cover. Water loss from the sediments is likely due to a general lowering of the water table through seepage and groundwater movements, and increased evapo-transpiration rates caused by warming temperatures and vegetation growth. These seasonal changes result in seasonal increases in organic carbon, pH and Eh, and decreases in the electrical conductivity of the marsh sediments.

Significant ( $P < 0.02$ ) seasonal increases in the organic carbon content of the marsh sediments can be attributed to the rates of decomposition of organic matter and microbial activity, both of which are accelerated by increasing temperatures (Tyler, 1971b). Organic carbon is also derived from macrobenthos which was inadvertently collected in the sediment samples. Small (0.5 cm) oligochaetes may reach high densities in the salt marsh sediments (3,841/m<sup>2</sup>) and could contribute significantly to organic carbon content (Clarke, 1980).

The relatively high electrical conductivity of the marsh sediments recorded early in June 1978 is the combined result of freeze-out of water by sea ice which leaves salt accumulations at the sediment surface, and high surface evaporation which occurs before significant amounts of plant cover are present. Seasonal decreases in electrical conductivity can be attributed primarily to precipitation. A total of 332.5 mm of rain fell between June and August of 1978. Nearly one half of this total (126.1 mm) fell in July during brief but intense thunderstorms (Clarke, 1980). Rainfall also produces large fluctuations in the salinity of coastal pond waters. A rainfall of 24.5 mm, recorded on August 17, 1978, the day before the ponds on FP transect were sampled, caused a decrease in the electrical conductivity of the pond waters from a range of 14-28 mmhos/cm, in July, to 3-4 mmhos/cm in August. The input of fresh water through rainfall has been shown to similarly reduce salt concentrations in other salt marshes (Delaune *et al.*, 1976; Kershaw, 1976).



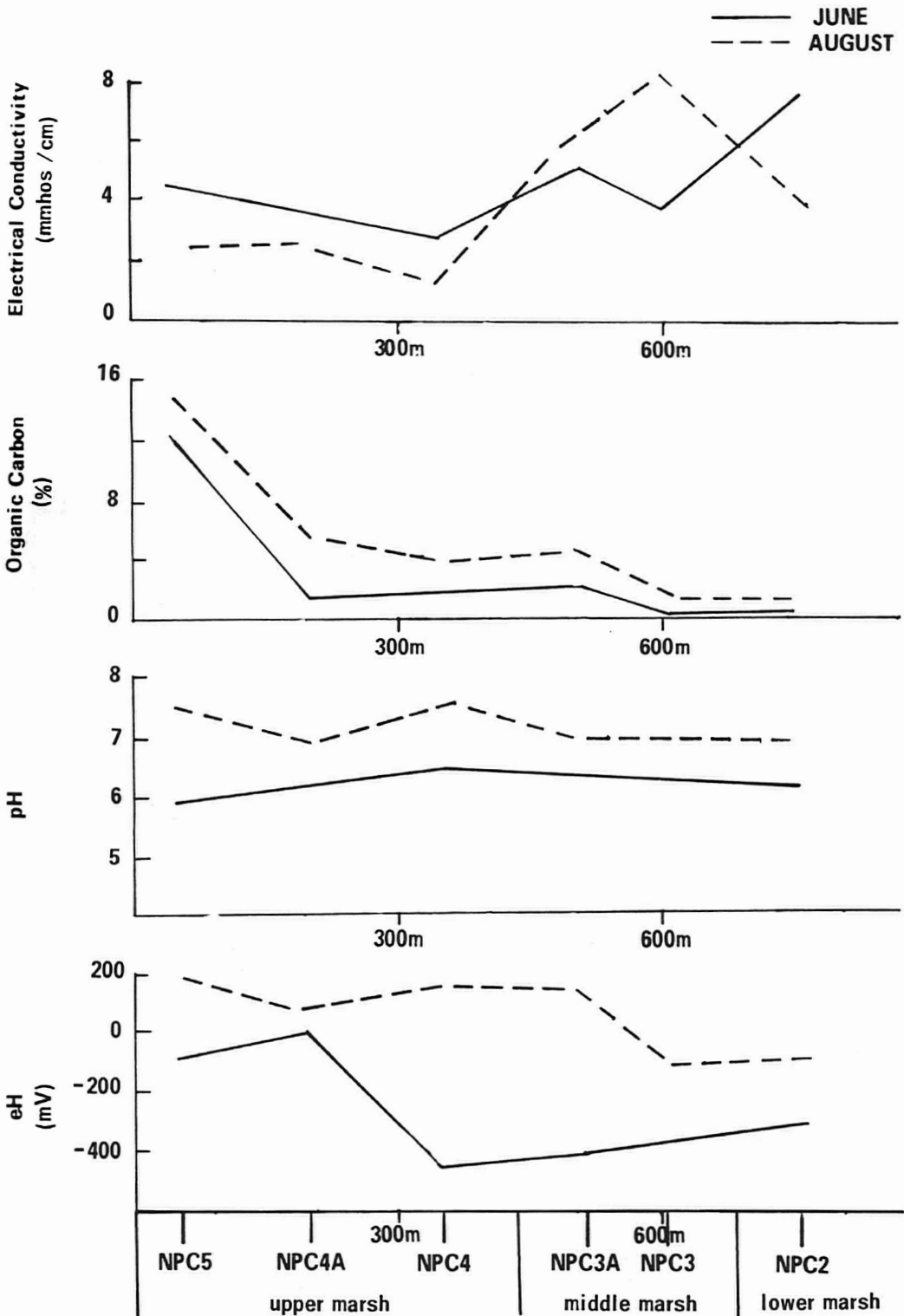


Figure 5. Seasonal changes in selected environmental variables — NPC transect 1978.

In the middle marsh of NPC transect the electrical conductivity of the sediments shows a seasonal increase (Fig. 4). Salts are introduced into this zone through periodic inundation by brackish tidal waters, and subsequent prolonged exposure leads to evaporation. The high within-zone variability in the electrical conductivity of the middle marsh sediments reflects the effect of microhabitat differences in sediment composition, plant cover and drainage (Clarke, 1980).

The strongly acidic pH (4.5) recorded in the lower marsh of NPA transect in June 1978 is likely the result of decomposition of large amounts of seaweed which are introduced into the lower marsh by autumn storms. At freeze-up this tidal debris is trapped under the ice, and remains until spring. In early June much of this material is still present and the strong odour of hydrogen sulphide indicates that decomposition is occurring. Van Straaten (1952) found that concentrations of sulphide and metastable disulphides can lower pH. This is probably the case at North Point. At spring thaw, tidal activity removes organic material and leaches organic acids and sulphides from the sediments, with the result that pH increases. Overall seasonal increases in the pH of the remaining marsh zones may also be attributed to rainfall, which has been found to dilute the concentration of sulphides and organic acids (Delaune *et al.*, 1976).

### Conclusion

Tides exert a major effect on the coastal sediments of North Point, and as a result many sedimentary properties show lateral gradients which are associated with the frequency and duration of tidal inundation. In the middle and upper salt marsh, climatic variables become increasingly important and the sediments of these zones exhibit high local microhabitat and seasonal variability. Furthermore large annual fluctuations in temperature, precipitation, and wind speed and direction occur along the south coast of James Bay, affecting tidal amplitude and inundation gradients. As a result the physico-chemical properties of the coastal sediments vary from year to year. In 1978, a wet year, electrical conductivities showed a landward decrease in the salt marsh, but in a dry year this trend might easily be reversed. The sedimentary parameters analyzed ex-

hibit high local, seasonal and annual variability to which the biological community must adjust.

### Acknowledgments

We would like to thank R.I.G. Morrison of the Canadian Wildlife Service, Central Region, who provided field logistics and helpful discussions. Financial support was provided by NSERC grant to the second author, and Environment Canada.

### References

- ANDERSON, S.A., 1972. The ecology of Morecambe Bay. II. Intertidal invertebrates and factors affecting their distribution. — *J. appl. Ecol.*, 9: 161-178.
- BARNETT, D.M., 1966. A re-examination and re-interpretation of tide gauge data from Churchill, Manitoba. — *Can. J. Earth Sci.*, 3: 77-78.
- BARR, A.J., J.H. GOODNIGHT, J.P. SALL & J.T. HELWIG, 1979. A user's guide to SAS 79. — SAS Institute Inc., Raleigh, N. Carolina, 329 p.
- BOUMA, A.H., 1969. Methods for the study of sedimentary structures. — J. Wiley & Sons, N.Y., 458 p.
- BRERETON, A.J., 1971. The structure of the species populations in the initial stages of salt marsh succession. — *J. Ecol.*, 59: 321-338.
- CHAPMAN, L.J. & M.K. THOMAS, 1968. The climate of northern Ontario. — Met. Branch, Dept. Transport, Climatological Studies no. 6. Toronto, 58 p.
- CLARKE, K.E., 1980. Ecology of a subarctic coastal system, North Point, James Bay, Ontario. — Unpublished M.Sc. thesis, University of Guelph, Ontario, 232 p.
- CRAIG, B.G., 1969. Late glacial and post-glacial history of the Hudson Bay region. — Pages 63-77 in P.J. Hodd (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay, Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 386 p.
- DELAUNE, R.D. & W.H. PATRICK Jr., & J.M. BANNON, 1976. Nutrient transformation in Louisiana salt marsh soils. — Center for Wetland Resources, Louis. State Univ., Baton Rouge, LSU-T-76-009, 37 p.
- DIXON, W.J. & M.B. BROWN, 1979. BMDP-79 Biomedical computer programs P-Series. — Univ. of Calif. Press, Berkeley, 880 p.
- ELTRINGHAM, S.K., 1971. Life in mud and sand. — English Univ. Press, London, 218 p.
- ENVIRONMENT CANADA, 1978. Monthly record, meteorological observations in eastern Canada. — Atmospheric Environment.
- GLOOSCHENKO, W.A., 1978. Above-ground biomass of vascular plants in a subarctic James Bay salt marsh. — *Can. Fld Nat.*, 92: 30-37.

- GLOOSCHENKO, W.A. & I.P. MARTINI, 1978. Hudson Bay lowlands baseline study. — Pages 663-679 in Coastal zone 1978, Proc. of the symp. on tech., environ., socioeconomic and regulation aspects of coastal zone management, ASCE/San Francisco, 4 vol., 3091 p.
- GREEN, J., 1968. The biology of estuarine animals. — Sidgwick & Jackson, London, 401 p.
- HANTZCHEL, W., 1939. Tidal flat deposits — Pages 195-206 in P.D. Trask (ed.). Recent marine sediments, S.E.P.M. Spec. Publ. no. 1.
- HUNTER, G.T., 1970. Postglacial uplift at Fort Albany, James Bay. — Can. J. Earth Sci., 7: 547-548.
- KERSHAW, K.A., 1976. The vegetation zonation of the East Pen Island salt marshes, Hudson Bay. — Can. J. Bot., 54: 5-13.
- KLEINBAUM, D.G. & L.L. KUPPER, 1978. Applied regression analysis and other multivariable methods. — Duxbury Press, Mass., 486 p.
- LACOURSIÈRE, E. & A. MAIRE, 1976. Étude écologique et cartographie de la végétation du littoral de la baie de Rupert. — Société de Développement de la Baie James, Direction de l'environnement, p. 12-14.
- LEE, H.A., 1960. Late glacial and postglacial Hudson Bay sea episode. — Science, 131: 1609-1611.
- MARTINI, I.P., 1981. Morphology and sediments of the emergent Ontario coast of James Bay, Canada. — Geogr. Annlr, A. 63: 81-94.
- MARTINI, I.P., & R. PROTZ, 1978. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of southern James Bay, Ontario, Canada. — Land Resource Science, Tech. Memo no. 78-1, Univ. of Guelph, 316 p.
- MARTINI, I.P., R.I.G. MORRISON, W.A. GLOOSCHENKO & R. PROTZ, 1980. Coastal studies in James Bay, Ontario. — Geosci., Canada, 7: 11-21.
- MARTINI, I.P., R. PROTZ, D. GRINHAM, W.A. KING & K.E. CLARKE, 1979. Studies of coastal sediments, soils and biota, James Bay, Ontario, Canada. — Land Resource Science, Tech. Memo 79-1, Univ. of Guelph, 290 p.
- McKEAGUE, J.A., 1976. Manual on soil sampling and methods of analysis. — Soil Research Institute, Ottawa, 212 p.
- NEWELL, R.C., 1965. The role of detritus in the nutrition of two marine deposit feeders, the Prosobranch *Hydrobia ulvae* and the bivalve *Macoma balthica*. — Proc. zool. Soc. Lond., 144: 25-45.
- RITCHIE, J.C., 1957. The vegetation of northern Manitoba. II. A prairie on the Hudson Bay lowlands. — Ecology, 38: 429-435.
- SANFORD, B.V., A.W. NORRIS & H.H. BOSTOCK, 1968. Geology of the Hudson Bay lowlands (Operation Winisk). — Geol. Surv. Can., Paper no. 67-60, 118 p.
- STEELE, R.D. & J.H. TORRIE, 1960. Principles and procedures of statistics with special reference to biological sciences. — McGraw-Hill, N.Y., 481 p.
- STRAATEN, L.M.J.U., van, 1952. Biogene textures and the formation of shell beds in the Dutch Wadden Sea. — Proc. K. ned. Akad. Wet., 55: 500-516.
- STRAATEN, L.M.J.U., van, & P.H.H. KUENEN, 1957. Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea. — Geol.-Mijnbouwk., 19: 329-354.
- TYLER, G., 1971a. Hydrology and salinity of Baltic sea-shore meadows. Studies in the ecology of Baltic sea-shore meadows III. — Oikos, 22: 1-20.
- TYLER, G., 1971b. Distribution and turnover of organic matter and minerals in a shore meadow ecosystem. — Oikos, 22: 265-291.



## MARSH FORAMINIFERA ZONATIONS IN WESTERN JAMES AND HUDSON BAYS

D. B. SCOTT

Department of Geology, Dalhousie University  
Halifax, Nova Scotia B3H 3J5

and

I. P. MARTINI

Department of Land Resource Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1

### Résumé

Les populations de foraminifères des marais côtiers des baies James et d'Hudson sont peu diversifiées comparées à d'autres régions plus tempérées. Cette faune de marais surélevé (de 100-120 cm au-dessus du niveau de la mer) est surtout constituée de *Trochammina macrescens* et de *Polysaccammina ipohalina* dans deux des cinq transects étudiés. Les marais peu élevés contiennent des espèces calcaires, dépôts de la mer de Tyrrell et de rares *T. macrescens* avec la présence dans le cas de North Point de *Miliammina fusca*. Le nombre total d'individus est bas ( $< 100/10 \text{ cm}^3$ ) comparé avec d'autres populations de marais tempérés ( $> 1000/10 \text{ cm}^3$ ).

Une tendance nord-sud se dégage: plus d'espèces sont présentes dans les deux transects du sud (North Point et Ekwan Point). Cependant, un des transects nord (Goose Creek) subit l'influence d'une rivière et un autre comporte un marais peu élevé (Big Spit), ce qui peut faire fluctuer les populations.

On peut utiliser les foraminifères de marais élevés pour situer les niveaux antérieurs de la mer jusqu'à une précision de  $\pm 10 \text{ cm}$ . Cependant, à cause de leur nombre restreint, la reconstruction précise des côtes d'émergence, à l'aide de dépôts de tourbières, le long des côtes surélevées des basses-terres de la baie d'Hudson, doit être faite avec prudence.

### Abstract

In comparison with more temperate areas, there are few marsh foraminiferal species in James-Hudson Bay marshes. However, a unique upper marsh fauna (100-120 cm above mean sea level) consisting of *Trochammina macrescens* and *Polysaccammina ipohalina* was present in two of the five transects. Low marsh areas contained varying amounts of reworked calcareous species from raised Tyrrell Sea deposits together with rare *T. macrescens* and, in one case at North Point, *Miliammina fusca*. Total numbers of individuals were low ( $< 100/10 \text{ cm}^3$ ) as compared with populations in temperate marshes ( $> 1000/10 \text{ cm}^3$ ).

There appeared to be a north-south trend with more species occurring in the southern areas (North Point and Ekwan Point) than in northern transects. However, one northern transect was strongly influenced by a river (Goose Creek) and another had poor upper marsh development (Big Spit) which could account for some of the observed variation.

The observed upper marsh fauna can be used to relocate former sea levels to an accuracy of  $\pm 10 \text{ cm}$ . Cautious use of comparable assemblages because of their reduced specimen numbers should enable the reconstruction of a very accurate emergence curve using samples from the peat deposits that are preserved in long series of raised shorelines throughout the Hudson Bay lowland.

### Introduction

The Hudson Bay lowland is one of the most extensive wetland systems in the world with an estimated area of 80,000 ha (Glooschenko & Martini, 1978). It is also of interest because it has a rapidly emerging coastline. Although the marshes have been the subject of extensive research over the last few years, no one has investigated marsh foraminiferal distributions in this area until now. In the last few years, much information has accumulated concerning the vertical distributions of marsh foraminifera from temperate and subtropical latitudes (Ellison & Nichols, 1976; Scott, 1976a, b; Scott & Medioli, 1978, 1980a, b; Scott *et al.*, 1979). Hence it is possible to make direct comparisons of these assemblages to those found in the subarctic marsh environment of James Bay.

The climate of the lowland area is classified in the Köppen system as a humid microthermal subarctic climate (Glooschenko & Martini, 1978). The only other marsh foraminiferal study done in an area of comparable climate was published by Phleger (1967) for a small locality on the coast of Alaska. Since it is possible that subarctic conditions extended beyond their present limits during past glacial events, it is desirable from a

paleoecological point of view to be able to recognize a fossil subarctic marsh assemblage in areas that are now temperate in climate.

To cover an essentially north to south latitudinal gradient, five transects were sampled: Goose Creek, Wabuk Point, Big Spit System, Ekwan Point and North Point (Fig. 1). In addition to any north-south trend, the transects also sample several different types of marsh that occur along the coast. The objectives of this paper are to present an evaluation of inter-marsh trends as well as interpretations of intra-marsh vertical foraminiferal distributions, and to discuss the possibility of using subarctic marsh foraminiferal assemblages as indicators of former sea levels.

### Previous work

Leslie (1965) examined benthic foraminiferal distributions from modern sediment of the entire Hudson Bay system. He found few or no marsh foraminifera in his samples. Schafer (1969) examined benthic foraminifera from several estuaries including the Moose River, Albany River and Severn River and concluded that many of his samples contained redeposited specimens that originated

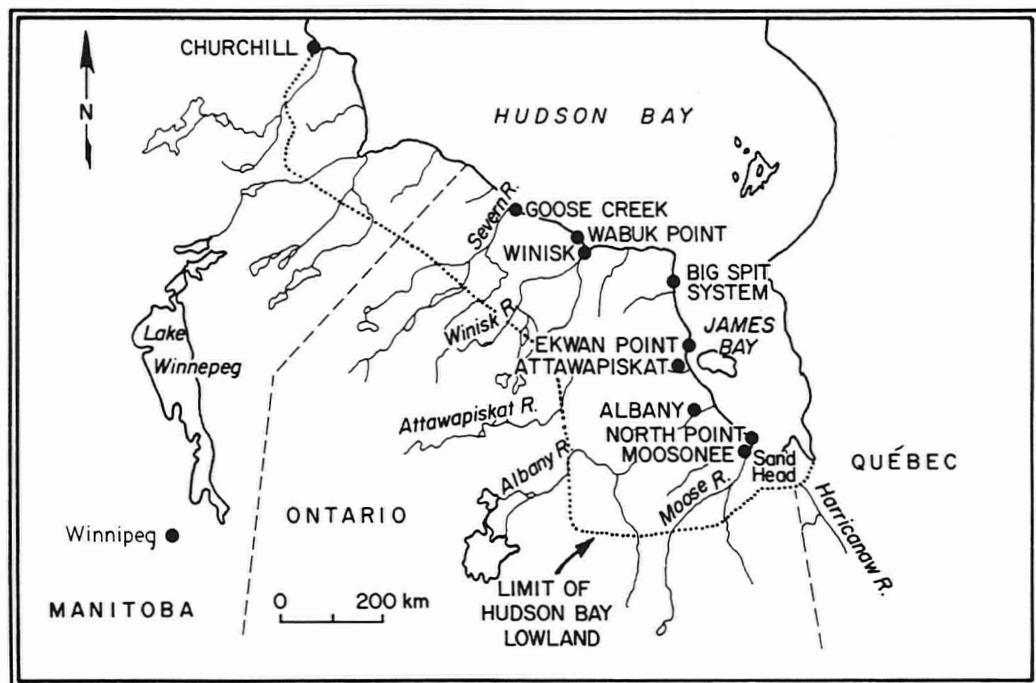


Figure 1. Location map showing positions of North Point, Ekwan Point, Big Spit, Wabuk Point, and Goose Creek transects.

from raised marine (Tyrrell Sea) deposits that crop out on the banks of major river channels.

There has been considerable work done on other aspects of these marshes, the most comprehensive studies having been published for the North Point transect. Glooschenko (1978) and Glooschenko & Martini (1978) conducted baseline studies of the area in regard to vegetation, general geological aspects, and geomorphology. Glooschenko & Capobianco (1980) investigated the geochemistry along the North Point transect, and Martini *et al.* (1979) reported on sediments, soils, and biota; Clarke (1980) concentrated on the general ecology of this transect. The work was summarized by Martini *et al.* (1980) and Clarke *et al.* (1982).

Along the other transects there is less published material. Martini & Protz (1980, 1981) and Grinham (1980) have reported on the Big Spit System, Goose Creek, Wabuk Point, and Ekwan Point transects. In general they show a fining landward in grain size, a decrease landward in calcium carbonate, pH, conductivity, and an increase in organic matter and organic bound iron and aluminum. Local anomalies occur where small beach ridges are present, and in tidal pools or evaporitic pans. Martini (1981) reported on ice scour effects in the marshes in relation to erosion and sedimentation. Kershaw (1974) and Kershaw & Rouse (1973) investigated plant distributions in marshes north of the study area (Pen Island). Pielou & Routledge (1976) also have studied plant distributions along the entire area from Moosonee to Churchill.

### Methods

Collection methods used were similar to those described by Scott & Medioli (1980a) so as to permit a direct comparison with their data. Samples from the five transects were obtained during the summer of 1979 and 1980. Vegetation and other data were noted concurrently with foraminiferal sampling. Samples from North Point were collected along an established surveyed transect while the other transects were surveyed at the time of foraminiferal sample collection. Due to a lack of bench marks, elevations were relative (no fixed sea level point). Mean sea level (MSL) is taken as the lowest part of the salt marsh and the upper extent of the marsh is equated with higher high water (HHW). This relationship is true in other

marshes (Chapman, 1976; Scott & Medioli, 1980a) and, when considered in terms of published tidal ranges, it appears a valid assumption for the James-Hudson Bay marshes.

Replicate samples at all stations were collected with a small stainless steel tube (Scott & Medioli, 1980a) that yielded a sample of 10 cm<sup>3</sup> (10 cm<sup>2</sup> × 1 cm). This sample size is the same as that used by Phleger (1967) and in other studies (Scott & Medioli, 1980a). Samples were treated with buffered formalin at time of collection. In the laboratory the sediment was sieved through 0.5 mm and 0.063 mm screens (the smaller size retaining foraminifera). Rose Bengal stain was added to samples to stain living individuals. A complete description of methods is contained in Scott & Medioli (1980a).

### Physiography and vegetation characteristics

#### PHYSIOGRAPHY

Ice scour plays a major role in the shaping of coastal features in the James Bay region, particularly during spring break-up (Martini, 1981). One localized peculiarity is the "jigsaw" marsh at Wabuk Point where the ice has eroded parts of the lower marsh vegetation creating a system of many isolated ponds. On other transects, storm beach ridges affect tidal circulation in the marshes behind them.

The tidal range in this area of the bay varies between 0.7 and 3.0 m (Martini, 1981) with the 2.5-3.0 m range being most common at the location of these transects. These ranges are comparable to normal tidal ranges on the Atlantic coast of Canada which are usually slightly more than 2.0 m.

Aiding in the formation of new marsh, but preventing thick marsh peat accumulations is the constant emergence of the area at a rate of 0.7 to 1.0 m/century (Martini, 1981). This contrasts with other marshes studied along submerging coastlines, but should not affect the spatial distributions of marsh foraminiferal species. Emergence has created new lands with generally low vertical gradients and hence gradual rather than abrupt flora changes that are characteristic of marshes in other areas (Scott & Medioli, 1980a; Clarke, 1980).

Individually, each marsh shows a slightly different physiographic setting. At North

Point, the lower marsh is locally fairly steep because it is located seaward and adjacent to a beach ridge which shelters the upper marsh zone. At Ekwan Point there are beach ridges, but the marsh has a steep vertical gradient (comparable to Atlantic coastal marshes) because of its narrow lateral extension (few hundred metres) and its total vertical range (1-2 m) associated with a relatively local high tide (3-4 m) funneled along a narrow and shallow strait. Both marshes occur a few kilometres northwest of rivers. However, the river influence is minor because most of the sedimentary and freshwater fluvial materials are redistributed southward by the persistent anticlockwise marine current of the bay. At the Big Spit System there are two sets of beach ridges which protect the marsh, one several hundred metres seaward of the lower marsh and one at the mean high water mark. Wabuk Point marsh has a relatively steep vertical gradient, and no beach ridges. The marsh at Goose Creek is characteristically flat, and is directly affected by freshwater discharge since it is located to the southeast (downdrift) of the Severn River (Martini & Protz, 1981).

In terms of certain physical parameters all of the transects are comparable. Sediments are characterized by a high  $\text{CaCO}_3$  (30-40%) content and a relatively high pH ( $> 7.0$ ). Relative electrical conductivities are lowest at Goose Creek (almost  $0 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), higher at North Point and Wabuk Point ( $3\text{-}5 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), and highest at Big Spit and Ekwan Point ( $10\text{-}14 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). It should also be noted that maximum conductivity values were found in the upper marsh regions of some transects; this departs from marshes along the Atlantic coast of Nova Scotia where salinity decreases regularly in the upper marsh because of increased runoff.

#### VEGETATION

The North Point marsh has the best developed vegetation zonation (Fig. 2) which may or may not be the result of its southernmost location (Pielou & Routledge, 1976). The vegetation pattern can be divided into four zones along the transect: A2-*Puccinellia phryganodes*; A3-*Plantago maritima* and *Triglochin maritima*; A4-*T. maritima*, *Potentilla egedii*, *Glaux maritima*, *Festuca rubra*, *Hordeum imbatum* and *Salicornia europaea*; and A5-*Carex subspathacea*, *Scirpus maritimus*, and *Hippuris tetraphylla* (Fig. 2).

At Ekwan Point (Ekwan River North in Martini & Protz, 1978), approximately 150 km

north of North Point, only two marsh zones have developed (Fig. 3). The reduced number of zones may be indicative of the steeper than average vertical gradient (compare Fig. 3 with Fig. 2). Zone I is dominated by *Puccinellia phryganodes* and there is a narrow (30 m) transition area between Zone I and II where *Puccinellia phryganodes*, *Puccinellia lucida*, *Plantago maritima*, and *Salicornia europaea* are equally abundant. In Zone II *Festuca rubra*, *Hordeum jubatum*, and *Plantago maritima* are abundant with a trace of *Potentilla egedii*. The *Carex-Scirpus* zone is absent at Ekwan Point.

Big Spit is 150 km north of Ekwan Point on a relatively straight coastline affected by strong currents and storm waves. Most foraminiferal samples for this study were obtained in the protected and relatively broad lower marsh (*P. phryganodes*) zone (Stations 1-17). Above this zone is a narrow area of ponds and vegetation with a mixture of *Carex*, *Hippuris*, *Festuca*, and *Potentilla*.

Wabuk Point lies about one hundred kilometres farther north. Its lower marsh has a mixture of *P. phryganodes*, *Carex*, *Potentilla*, and *Stellaria*. The upper marsh supports *Carex*, *Potentilla*, and some *P. phryganodes* and the saline meadows in the uppermost part of the marsh have *Festuca* and *Salix* spp. The vertical sequence shown in Figure 4 is greatly simplified since there are many microsequences situated on the edges of ponds and along channels.

The northernmost transect, Goose Creek, is about 50 km north of Wabuk Point. As noted previously this is the only marsh that is directly affected by a river and this freshwater influence is reflected by the growth of *Hippuris tetraphylla* around ponds in the low marsh. The Goose Creek transect is relatively flat and as a result the upper marsh plant zonation extends lower here in response to the increased freshwater input. *Puccinellia phryganodes* covers only the lowest marsh (Stations 1-3) and it gives way to *Carex*, *Hippuris*, and *Potentilla* above + 25 cm (Stations 4-16).

#### Results

A total of 209 samples from the five transects described above were examined for benthic foraminifera. Sixty-two species were observed of which 15 were found to be living at the time of collection<sup>1</sup>. Most of the living

<sup>1</sup> Data available on request from authors.



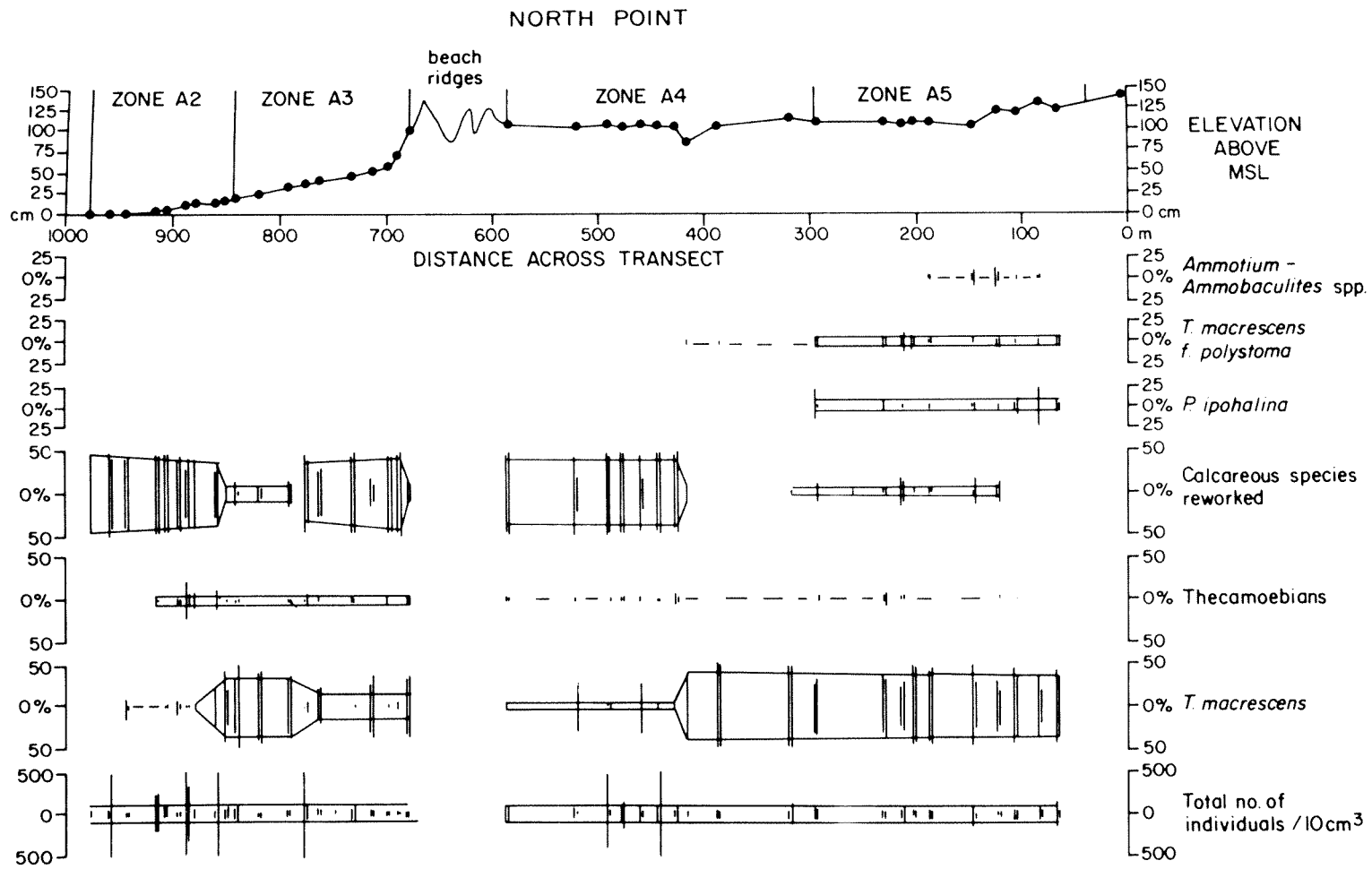


Figure 2. North Point foraminiferal distributions. Plant zones are described in the text. Vertical bars represent total population percentages at each station. Circled dots are survey stations; black dots are estimated locations between survey stations. Horizontal connecting lines indicate subjective averaging, hence some vertical bars are either inside or outside the lines.

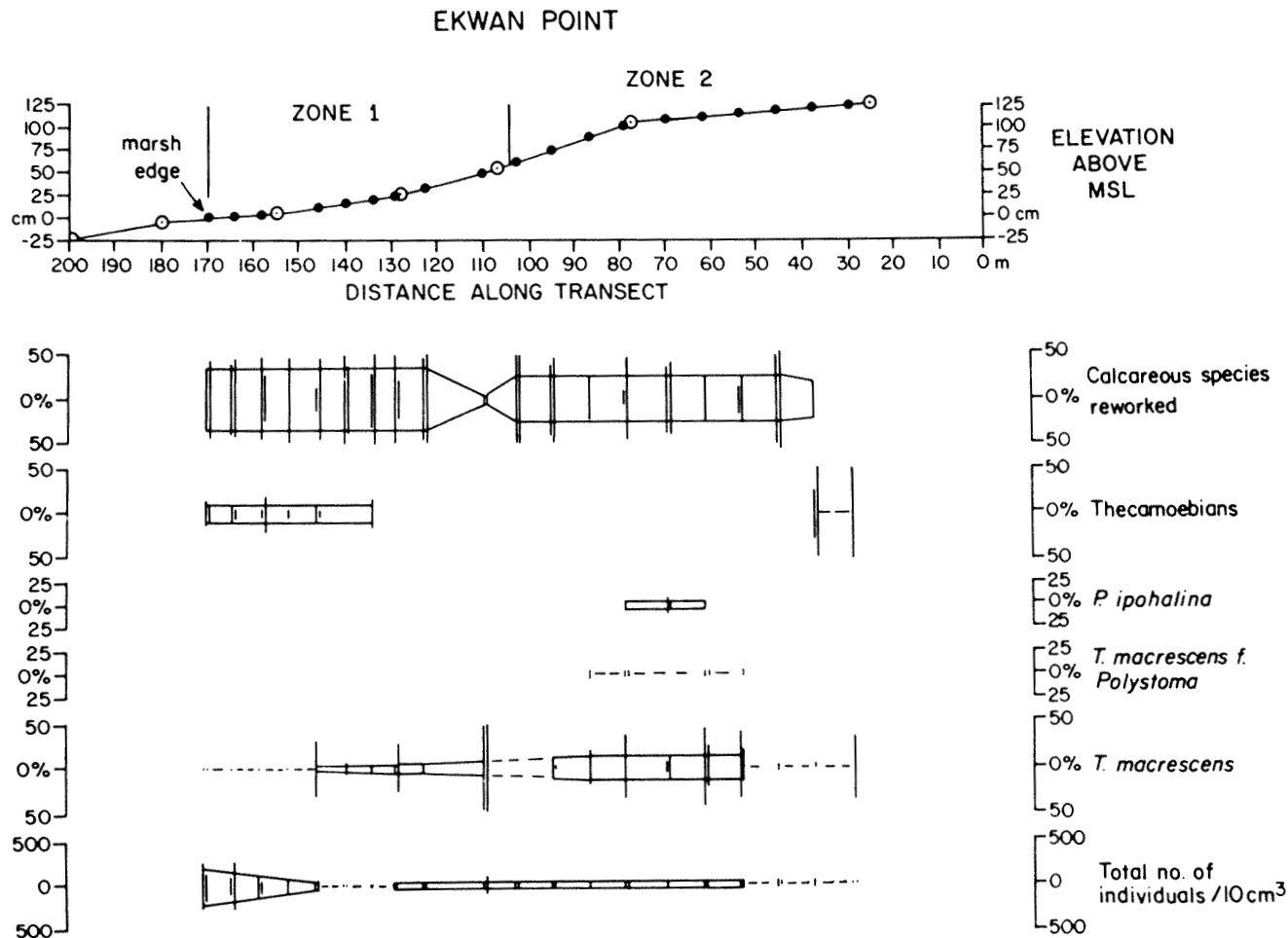


Figure 3. Ekwon Point foraminiferal distributions, format same as in Figure 2.

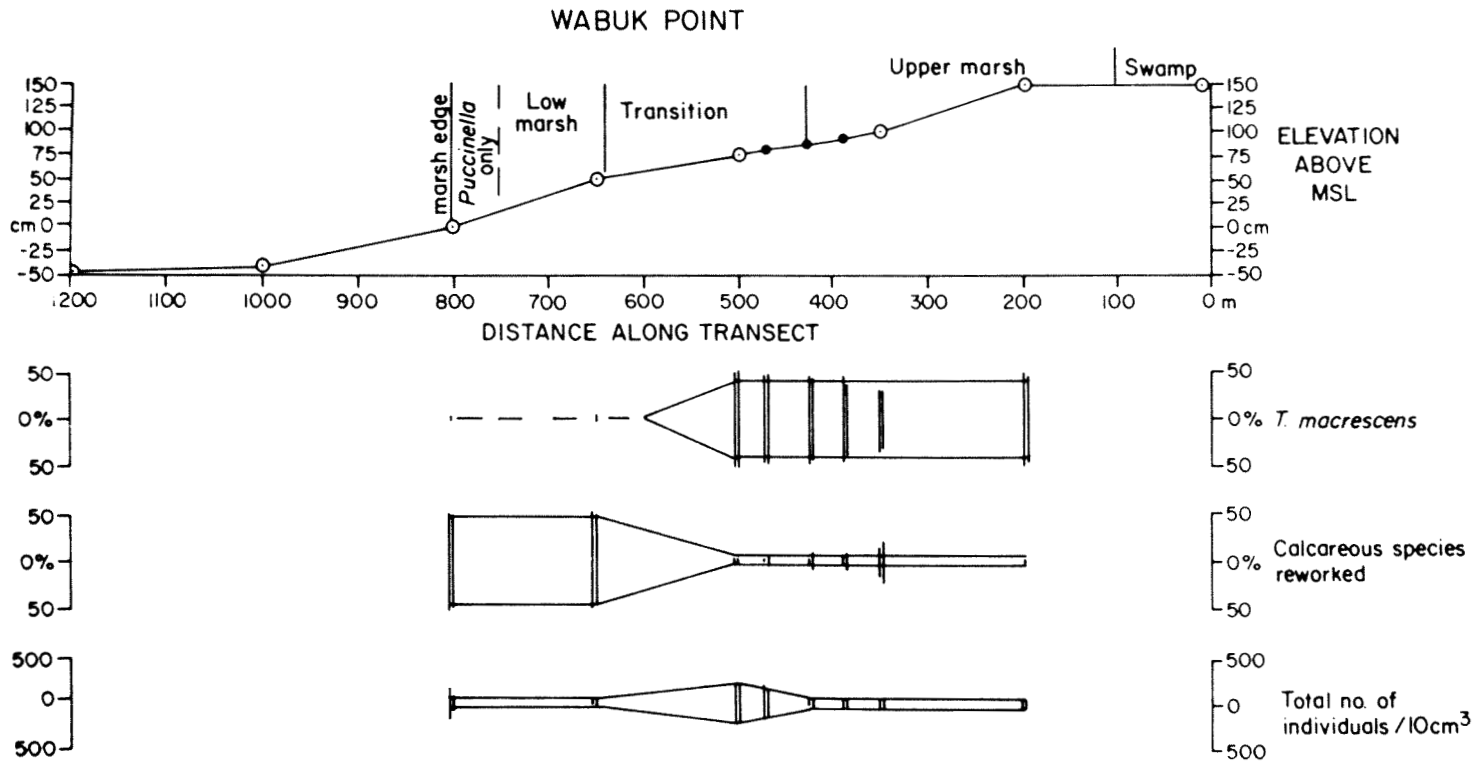


Figure 4. Wabuk Point foraminiferal distributions, format same as in Figure 2.

species were either marsh forms (taxa) or thecamoebians, although some calcareous species were found living in the lower marsh. Forty-seven of the 62 species were not marsh species and probably represent reworked material from the older raised Tyrrell Sea sediments that are presently being exposed and reworked as the area emerges. Assemblages were defined on the basis of their total populations (living plus empty tests), an approach that has proven to be reliable in marshes (Scott & Medioli, 1980b).

#### NORTH POINT

The transect at North Point is the longest and most detailed ever examined for marsh foraminiferal distributions (Table I). Forty stations were occupied over a 900 m horizontal and only a 1.30 m vertical distance. Total numbers of individuals were highly variable (particularly in areas dominated by reworked material) but remained relatively high throughout the transect (Fig. 2). The vertical distribution of assemblages is complex; reworked material (except *Miliammina fusca*) characterizes the 0-15 cm elevation with *Trochammina macrescens* being most prominent from the upper part of vegetation zone A2 (+ 15 cm) to the upper part of zone 4 (100 cm elevation). The size of the total population of *T. macrescens* is partly masked in some areas by the large amount of reworked material but it is virtually the only living species in the zone. *Diffugia elegans* (a thecamoebian) is also common but may be a transported component from the nearby Moose River. Above the + 100 cm elevation, a foraminiferal association unique to these marshes occurs; it includes *T. macrescens*, *Polysaccammina ipohalina*, *T. macrescens* f. *polystoma*, and *Ammotium-Ammobaculites* spp. This association continues to the upper limit of our sampling at + 130 cm.

#### EKWAN POINT

The transect is relatively short horizontally but well sampled (20 stations) (Table II). Total numbers of foraminifera were generally lower than those observed at North Point, but this was largely due to a reduced presence of reworked material (Fig. 3). Although plant zones are markedly different here than at North Point, the marsh foraminiferal zonation is almost identical. *Trochammina macrescens* and thecamoebians (in addition to reworked material) characterize the

marsh from about + 10 cm to + 100 cm elevation (thecamoebians absent above + 20 cm). From + 100 to + 110 cm an assemblage similar to the upper zone at North Point occurs but it lacks the *Ammotium-Ammobaculites* component. The zone above + 120 cm appears to be out of the range of tidal influence and contains a small number of thecamoebians and foraminifera (Fig. 3). *Miliammina fusca* was not observed in the lower marsh area of this transect.

#### BIG SPIT SYSTEM

Samples from 23 stations were examined and 31 species were observed (Table III). No distinct zonations could be discovered except that reworked specimens virtually disappeared above + 85 cm elevation (station 18). Above this level a few thecamoebians and one relatively large population of *T. macrescens* were observed (station 22B).

#### WABUK POINT

The transect in this marsh was relatively short and weather/time conditions did not permit ideal coverage (8 stations). However, a well developed marsh foraminiferal assemblage was observed in the + 75 to + 150 cm elevation interval; it consisted primarily of *T. macrescens* (Table IV). Numbers of both living and total individuals were higher (for the marsh species) here than at any other transect, particularly at station 6 (Fig. 4). Reworked specimens occurred rarely except below + 75 cm elevation (stations 7, 8).

#### GOOSE CREEK

As at Big Spit, total numbers at Goose Creek were exceedingly low (Table V). Samples from 16 stations were examined and found to contain 33 species. Reworked specimens were most prominent below + 50 cm elevation and a thecamoebian assemblage occurred above that level. Thecamoebians observed (*Centropyxis aculeata*) in the upper part of this transect are probably indigenous since this particular species is known to be able to tolerate mild salinities. Virtually no marsh foraminiferal species were observed.

### Discussion

Virtually all marsh foraminiferal species known from Nova Scotia occur in the James-Hudson Bay marshes, however in James

Bay most species occur so rarely that they cannot be used quantitatively. High marshes in Nova Scotia (which are comparable to those found in temperate latitudes) can have as many as 1,000 individuals/10 cm<sup>3</sup> living and 10,000 individuals/10 cm<sup>3</sup> total (Scott & Medioli, 1980b), while comparable zones in James-Hudson Bay marshes generally contain less than 50/10 cm<sup>3</sup> living foraminifera and 200/10 cm<sup>3</sup> total. In Nova Scotia large populations begin to develop in June when maximum daily temperatures first exceed 20°C (Scott & Medioli, 1980b). At James-Hudson Bay, temperatures of this magnitude are reached only in July (Glooschenko & Martini, 1978) and since living populations are depleted by winter conditions, they have no time to attain high numbers in the short summer season.

The harsh climate of James-Hudson Bay excludes all but the most resistant species, and it is not surprising that *Trochammina macrescens* is the most dominant marsh species. This form appears to be the only species capable of living in the extreme marsh areas of Nova Scotia and elsewhere (Scott & Medioli, 1980a). It is also not surprising that *Polysaccamina ipohalina* is more common in James-Hudson Bay than elsewhere. This species occurs irregularly in most marshes but is rarely prominent. The type locality for *P. ipohalina* is a brackish-stagnant marsh in southern California, and the species was not observed in normal marshes of that area (Scott, 1976a,b). It appears that *P. ipohalina* is an opportunist species which is able to flourish in the comparatively stressed James-Hudson Bay marsh environments because of limited competition. Competitive exclusion is known for other marsh foraminiferal species. *Miliammina fusca* is excluded from summer populations in Nova Scotia by calcareous species (Scott & Medioli, 1980b), so it is not unreasonable that *P. ipohalina* should benefit from a lack of competition.

Marsh environments in most regions would not have the large occurrences of calcareous reworked specimens present in James-Hudson Bay marshes because marsh sediments usually have a relatively low pH which causes dissolution of most detrital carbonate. The buffering effect of the high CaCO<sub>3</sub> content of the marsh sediments of James-Hudson Bay allows preservation of the calcareous tests of foraminifera. Nevertheless, the calcareous specimens become more rare in upper marsh areas where

organic content increases and clastic sediment decreases. Hence one would expect to find few reworked specimens preserved in high marsh peats, even in James Bay, thereby simplifying the interpretation of fossil assemblages.

The only other study from an area comparable to the James-Hudson Bay marshes was in Alaska (Phleger, 1967). The study was limited to about 10 samples in which only low numbers of *Trochammina macrescens* occurred similar to the observations for lower marsh areas at Ekwan and North Points. Phleger provided no elevational or salinity data. Samples examined by Schafer (1969) from some of the estuaries of the James Bay region contained the same reworked species as observed here, but in much lower numbers and no marsh species were noted.

Pielou & Routledge (1976) have identified a north to south trend in vegetation zones of James-Hudson Bay marshes. Also, a zone of discontinuous permafrost occurs over part of the Hudson Bay coast areas while there is only sporadic permafrost south of Cape Henrietta Maria (Glooschenko & Martini, 1978). There appears to be an associated trend in foraminiferal distributions with more diverse faunas occurring in the southern transects (Ekwan and North Points) and less diverse or no faunas in the north. However, the hypothesis is complicated by the increased river influence at Goose Creek which may limit marine species (foraminifera) and by the extent of the lower marsh environment at Big Spit which supports few species although it is at mid-latitudes in James Bay. At Wabuk Point more than one species would have been expected if there was no latitudinal gradient, since the marsh environment certainly appeared suitable for at least one species. Hence it appears there are several factors acting to limit marsh foraminiferal distributions in James-Hudson Bay, one of which may be a latitudinal (temperature) gradient.

It is noteworthy that *Trochammina macrescens* forma *polystoma* occurs commonly (together with *Polysaccamina ipohalina*) in the upper marsh areas of James-Hudson Bay; it is thought to be the high salinity variant of *T. macrescens* (Scott & Medioli, 1980a). In temperate marshes such as those in Nova Scotia, salinities are lowest in the high marsh (more runoff, less tidal influence) and *T. macrescens* f. *polystoma* is



A3 10A	100	2	5	20	29	24	5	10								95	66		
A3 10B	100	1	4	6	11	18		9								100	73		
A4 1A	108	0	9	0	86	96		2									2		
A4 1B	108	0	10	0	146	98		1				1							
A4 2A	102	1	12	1	100	95	100	5											
A4 2B	102	1	3	2	5	40										100	60		
A4 3A	105	2	15	6	1362	99										x	x		
A4 3B	105	1	11	2	63	93			2							100	5		
A4 4A	102	2	13	3	221	98		2				x							
A4 4B	102	0	12	0	328	94		5	x			1							
A4 5A	105	1	12	1	156	95		3				1			100	1			
A4 5B	105	1	5	12	22	31						5			100	64			
A4 6A	105	1	6	2	133	96		2							100	2			
A4 6B	105	0	16	0	1018	97		2				1							
A4 7A	102	2	8	3	58	85		12							67	3			
A4 7B	102	0	10	0	157	92		6				2							
A4 8A	87	2	5	5	20	15													
A4 9A	102	1	1	12	80										80	80	20	5	
A4 9B	102	1	2	13	102										100	100			
A4 10A	111	1	1	51	85										100	98		2	
A4 10B	111	1	3	122	257	1									100	100			
A5 1A	108	3	4	43	93				1			26	31		67	56	7	12	
A5 1B	108	3	9	24	126	24		6	1			4	2		88	60	8	7	
A5 2A	108	3	6	25	93	2		4	1			8	9		72	70	20	14	
A5 2B	108	3	7	29	80	11	3	14	4						86	60	10	11	
A5 3A	105	0	11	0	86	36		1							48			15	
A5 3B	105	1	9	1	188	22		1				1			100	53		23	
A5 4A	111	0	2	0	31										87			13	
A5 4B	111	1	3	2	31	3									100	87		10	
A5 5A	108	2	6	11	108	8						18	6		82	81		5	
A5 5B	108	2	5	11	104	1						18	9		82	87		3	
A5 6A	102	3	7	4	237	2	25	3				25	1	x	50	93		1	
A5 6B	102	0	8	0	35	29						20	3		49				
A5 7A	120	0	7	0	18	18						22			56			6	
A5 7B	120	1	10	2	53	28			2			10			100	43		11	
A5 8A	118	2	3	24	74							13	8		88	89		3	
A5 8B	118	2	6	40	156				1			25	22	1	75	74		1	
A5 9A	130	3	5	21	105							29	17		62	72	10	9	
A5 9B	130	3	6	15	77	1						40	48	1	47	38	13	10	
A5 10A	124	4	4	41	245				2	1		10	13		85	84	2	2	
A5 10B	124	3	4	13	71					1		8	15		62	70	31	13	

<sup>1</sup> *Cribronion excavatum* f. *clavatum*, *Haynesina orbiculare*, *Cassidulina reniforme*, *Buccella frigida*, *Brizalina spathula*, *Bulimina marginata*, *Buliminella elegantissima*, *Cibicides lobatulus*, *Cribronion bartletti*, *C. excavatum* f. *excavatum*, *C. incertum*, *C. subarcticum*, *C. frigidum*, *Dentalina ittae*, *Eggerella advena*, *Eoepionidella pulchella*, *Epistominella takayanagii*, *Fissurina marginata*, *F. serrata*, *Fursenkoina fusiformis*, *F. loeblichii*, *Glabratella wrightii*, *Hemisphaerammina bradyi*, *Islandiella teretis*, *Lagena mollis*, *Nonionellina labradorica*, *Oolina borealis*, *O. melo*, *Patellina corrugata*, *Pseudopolymorphina novangliae*, *Rosalina columbiensis*, *Trifarina fluens*, *Trochammina nana*, *T. ochracea*, *T. squamata*, and Planktonics; first three species are listed in order of relative abundance.

<sup>2</sup> *Centropyxis aculeata*, *C. constricta*, *Diffflugia oblonga*, *D. oblonga* A.

TABLE II

Foraminiferal percentage distribution along the Ekwan Point transect; x = less than 1%, L = living, T = total. In lower elevations some "reworked" species have living components which are not indicated here.

Station number	Elevation above MSL [cm]	No. of species		No. of ind./10 cm <sup>3</sup>		Reworked species <sup>1</sup>	D. elegans		C. aculeata		M. fusca		P. ipohalina		T. comprimata		T. inflata		T. macrescens		T. macrescens f. polystoma	
		L	T	L	T		L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
I 1A	0	2	14	44	502	71	95	27	5	1												1
I 1B	0	2	13	7	320	82	86	18												14		x
I 2A	2	3	9	13	141	79	85	20														1
I 2B	2	1	13	6	502	92	100	8														x
I 3A	5	1	10	1	216	94		6														
I 3B	5	2	11	9	109	58	89	42														
I 4A	8	2	9	4	90	99														75		1
I 5A	10	1	6	18	44	27		14												100		59
I 5B	10	1	10	1	139	92		7												100		1
I 6A	15	0	1	0	5	100																
I 6B	15	0	6	0	8	74					13											13
I 7A	20	0	5	0	14	57	36															7
I 7B	20	0	2	0	5	100																
I 8A	25	0	6	0	31	97																3
I 8B	25	1	4	4	20	40														100		55
I 9A	30	0	4	0	10	90											5					10
I 9B	30	0	5	0	31	100																
I 10A	50	1	3	38	52	6														100		94
I 10B	50	1	4	180	196	5														100		95
II 1A	60	0	1	0	1	100																
II 1B	60	0	4	0	8	100																
II 2A	75	1	6	4	19	79														100		21
II 2B	75	0	9	0	76	98	1															1
II 3A	83	2	8	18	47	49														83		40
II 4A	100	3	6	21	52	13						10	10							81		71
II 4B	100	2	8	2	93	92														50		3
II 5A	108	2	5	3	14	72														67		14
II 5B	108	2	6	9	36	72						11	3							89		25
II 6A	110	2	4	14	55	2						14	7							86		89
II 6B	110	0	7	0	33	52																2
II 7A	115	0	4	0	33	27														3		3
II 7B	115	0	7	0	33	52																
II 8A	118	0	7	0	42	95																3
II 8B	118	0	5	0	18	100																
II 9A	120	0	6	0	34	41																3
II 9B	120	0	1	0	5																	
II 10A	125	0	1	0	1																	
II 10B	125	0	2	0	3															33		67

<sup>1</sup> *Cribronion excavatum* f. *clavatum*, *Haynesina orbiculare*, *Cassidulina reniforme*, *Buccella frigida*, *Buliminella elegantissima*, *C. excavatum* f. *excavatum*, *Discorbis* sp., *Eggerella advena*, *Eoeponidella pulchella*, *Epistominella takayanagii*, *Fissurina marginata*, *Fursenkoina fusiformis*, *Glabratella wrightii*, *Islandiella teretis*, *Nonion auricula*, *Oolina borealis*, *Patellina corrugata*, *Pseudopolymorphina novangliae*, *Quinqueloculina agglutinans*, *T. ochracea*, and Planktonics; first three species are listed in order of relative abundance.



TABLE III

Foraminiferal percentage distribution along the Big Spit system transect; x = less than 1%, L = living, T = total. In lower elevations some "reworked" species have living components which are not indicated here.

Station number	Elevation above MSL (cm)	No. of species		No. of ind. / 10 cm <sup>3</sup>		Reworked species <sup>1</sup>	C. aculeata		Other thecos. <sup>2</sup>		Ammotium salsum		T. macrescens	
		L	T	L	T		L	T	L	T	L	T	L	T
1A	0	0	9	0	39	97				3				
1B	0	0	7	0	50	100								
2A	5	1	8	1	19	100								
2B	5	0	9	0	41	100								
3A	10	0	8	0	17	94								6
3B	10	0	5	0	25	100								
4A	15	0	7	0	17	100								
4B	15	0	7	0	58	100								
5A	20	0	3	0	8	100								
5B	20	1	9	1	24	96	100	4						
6A	25	0	4	0	10	100								
6B	25	0	9	0	25	96				4				
7A	30	0	3	0	3	100								
7B	30	0	6	0	15	100								
8A	35	0	8	0	17	100								
8B	35	0	4	0	12	100								
9A	40	0	5	0	6	83								17
9B	40	0	7	0	20	100								
10A	45	0	5	0	10	100								
10B	45	0	2	0	6	100								
11A	50	0	6	0	21	100								
11B	50	2	8	2	21	81					50	5	50	14
12A	55	0	9	0	27	100								
12B	55	0	4	0	9	100								
13A	60	0	5	0	11	100								
13B	60	0	3	0	6	100								
14A	65	1	3	1	3	67							100	33
14B	65	1	2	9	10	10							100	90
15A	70	0	15	0	219	100								
15B	70	0	5	0	10	100								
16A	75	0	4	0	4	100								
16B	75	0	5	0	11	100								
17A	80	0	3	0	7	100								
17B	80	0	7	0	22	100								
18A	85	0	4	0	9	33								
18B	85	0	2	0	7	14								
19A	90	1	1	1	4		100	100						
19B	90	2	3	2	8		50	75	50	26				
20A	95	0	4	0	13	100								
20B	95	0	1	0	1									100
21A	100	0	1	0	1	100								
21B	100	1	1	2	4								100	100
22A	100	0	1	0	5									100
22B	100	1	2	7	78	1							100	99
23A	105	1	1	4	10		100	100						
23B	105	1	2	2	14		100	93		7				

<sup>1</sup> *Cribronion excavatum* f. *clavatum*, *Haynesina orbiculare*, *Cassidulina reniforme*, *Astronion gallowayi*, *Buccella frigida*, *Cibicides lobatulus*, *Cribronion bartletti*, *C. excavatum* f. *excavatum*, *C. incertum*, *C. subarcticum*, *C. williamsoni*, *Eoeponidella pulchella*, *Epistominella takayanagii*, *Fissurina marginata*, *Fursenkoina fusiformis*, *F. loeblichii*, *Islandiella teretis*, *Miliolina* sp., *Nonionellina labradorica*, *Oolina borealis*, *Pseudopolymorphina novangliae*, *Quinqueloculina agglutinans*, *Q. seminulum*, *Trifarina fluens*, *T. ochracea*; first three species are listed in order of relative abundance.

<sup>2</sup> *Diffugia oblonga*, *D. oblonga* A., *D. elegans*, *D. tricuspis*.

TABLE IV

Foraminiferal percentage distribution along the Wabuk Point transect; x = less than 1%, L = living, T = total. In lower elevations some "reworked" species have living components which are not indicated here.

Station number	Elevation above MSL (cm)	No. of species		No. of ind. /10 cm <sup>3</sup>		Reworked species <sup>1</sup>	<i>M. fusca</i>		<i>T. inflata</i>		<i>T. macrescens</i>	
		L	T	L	T		L	T	L	T	L	T
1	150	1	1	2	35						100	100
1A	150	1	6	8	108	10					100	90
2	100	1	5	15	79	8					100	92
2A	100	1	7	3	88	17					100	83
3	90	1	3	1	38	8					100	92
3A	90	1	5	2	46	17					100	83
4	85	0	9	0	107	38	1					62
4A	85	0	6	0	72	32						68
5	80	1	3	41	183	3					100	97
5A	80	1	4	94	356	1					100	99
6	75	1	3	90	350	1					100	99
6A	75	1	4	71	421	1					100	99
7	50	0	12	0	85	95			1			4
7A	50	0	9	0	89	100						
8	0	2	10	2	139	99					50	1
8A	0	1	13	1	307	100				x		

<sup>1</sup> *Cribronion excavatum* f. *clavatum*, *Haynesina orbiculare*, *Cassidulina reniforme*, *Buccella frigida*, *Cibicides lobatulus*, *Cribronion bartletti*, *C. excavatum* f. *excavatum*, *C. subarcticum*, *C. frigidum*, *Eoeponidella pulchella*, *Fissurina marginata*, *Islandiella teretis*, *Lagena mollis*, *Oolina borealis*, *Pseudopolymorphina novangliae*, and Planktonics; first three species are listed in order of relative abundance.

usually restricted to lower marsh areas. However, its presence in James-Hudson upper marshes indicates some sustained higher salinities during the summer months and agrees with relatively high conductivity readings observed independently along some of these transects, especially near salt pans.

Marsh foraminiferal zonations often correlate with plant zonations in temperate marshes, but in the James-Hudson Bay marshes there is little correspondence, particularly at Ekwan Point and North Point where very different plant zonations contain almost identical foraminiferal assemblages.

The presence of large numbers of thecamoebians in the lower marsh suggests that most sediment from river effluent is deposited in the lower marsh areas as rising tides displace the effluent towards the shore where the plants act as sediment traps. By the time the effluent reaches the upper marsh, it has already deposited most of its suspended particulate load. The increased sedimentation in the lower marsh is also

reflected by a lower organic carbon content in the sediments (Glooschenko & Martini, 1978); this relationship was also noted in marshes from Atlantic Canada (Scott & Medioli, 1980a).

### Conclusion

Marsh foraminiferal zonations have proven extremely useful as sea level indicators in many areas (Scott & Medioli, 1978, 1980a). It appears that marsh foraminiferal zonations can also be used with caution as sea level indicators in subarctic marsh sediments. However, the typically low numbers of individuals that characterize these environments make the zonations more difficult to define because the absence of a species may not have the same significance as for more temperate marshes; peaty sediments without marsh foraminifera may not indicate freshwater (above tidal influence) peats as they would in more temperate areas. However, marsh foraminifera are sufficiently abundant that if an entire marsh sequence contains

TABLE V

Foraminiferal percentage distribution along the Goose Creek transect:  
 x = less than 1%, L = living, T = total. In lower elevations some "reworked" species  
 have living components which are not indicated here.

Station number	Elevation above MSL (cm)	No. of species		No. of ind./10cm <sup>3</sup>		Reworked species <sup>1</sup>	All thecos. <sup>2</sup>		<i>T. inflata</i>		<i>T. macrescens</i>	
		L	T	L	T		L	T	L	T	L	T
1	0	1	11	1	201	100						
1A	0	2	9	2	160	100						
2	0	1	7	2	66	100						
2A	0	0	10	0	89	100						
3	0	1	10	1	59	100						
3A	0	1	10	1	82	100						
4	25	0	5	0	42	100						
4A	25	0	5	0	31	94	6					
5	50	0	4	0	22	100						
5A	50	0	6	0	24	100						
6	50	0	7	0	25	96						4
6A	50	0	6	0	35	100						
7	50	0	3	0	14	93						7
7A	50	1	7	1	26	69	100	27				4
8	50	0	6	0	41	54		46				
8A	50	0	6	0	17	100						
9	60	0	4	0	5	80		20				
9A	60	0	7	0	15	19		74				7
10	70	0	3	0	11	18		82				
10A	70	0	4	0	5	100						
11	70	0	6	0	9	34		66				
11A	70	0	6	0	9	67		33				
12	60	0	5	0	11	91		9				
12A	60	0	3	0	6	83		17				
13	60	0	0	0	0							
13A	60	0	2	0	2			100				
14	110	0	6	0	12	41		25	17			17
14A	110	0	3	0	8	75		25				
15	125	0	6	0	25	48		52				
15A	125	1	4	1	21	15	100	85				
16	110	0	1	0	10			100				
16A	110	0	4	0	10	30		70				

<sup>1</sup> *Cribronion excavatum* f. *clavatum*, *Haynesina orbiculare*, *Cassidulina reniforme*, *Adercotryma glomeratum*, *Astronion gallowayi*, *Buccella frigida*, *Cibicides lobatulus*, *Cribronion bartletti*, *C. excavatum* f. *excavatum*, *C. subarcticum*, *C. frigidum*, *Cyclogyra involvens*, *Eggerella advena*, *Eceponidella pulchella*, *Epistominella takayanagii*, *Fissurina marginata*, *Fursenkoina fusiformis*, *F. loeblichii*, *Globobulimina auriculata*, *Islandiella teretis*, *Lagena mollis*, *Nonion barleeanum*, *Pseudopolymorphina novangliae*, *Quinqueloculina agglutinans*, *Tritarina fluens*, and planktonics; first three species listed in order of relative abundance.

<sup>2</sup> *Centropyxis aculeata*, *Diffflugia elegans*, *Centropyxis constricta*, *Diffflugia oblonga*, *D. tricuspis*; listed in order of relative abundance.

no foraminifera it should be safe to assume that it was non-tidal. The HHW datum can be accurately located in temperate areas by the abrupt disappearance of foraminifera but this obviously will not be possible in subarctic marsh sediments. It appears the best accuracy will be obtained if the peat contains

the *T. macrescens*-*P. ipohalina* fauna which would limit the elevation to  $\pm 10$  cm. Using this tool in the well preserved raised marsh sequences that occur along the Hudson Bay lowland, it should be possible to construct one of the most detailed and accurate emergence curves possible for this area.

### Acknowledgments

We wish to acknowledge the logistic support from the HBL Research Project of Environment Canada and the helicopter support from the Ocean and Aquatic Sciences, Central Region. Financial support was provided by NSERC research grants to Martini and Scott. Ms. K. Clarke collected the surface samples from Ekwan and North Point transects. Thanks are extended to external referees C. T. Schafer and B. Deonarine who helped improve the final manuscript.

### References

- CHAPMAN, V.J., 1976. Coastal vegetation, second edition. — Pergamon Press, Toronto, 292 p.
- CLARKE, K.E., 1980. Ecology of a subarctic coastal system, North Point, James Bay, Ontario. — M.Sc. thesis, Univ. Guelph, 232 p.
- CLARKE, K.E., I.P. MARTINI & W.A. GLOOSCHENKO, 1982. Sedimentary characteristics of the coastal environment of North Point, Ontario. — *Naturaliste can.*, 109: 385-397.
- ELLISON, R.L. & M.M. NICHOLS, 1976. Modern and Holocene foraminifera in the Chesapeake Bay region. — First int. Symp. on benthonic Foraminifera of the continental margins. Part A: Ecology and biology, Maritime Sediments, Spec. Publ., 1: 131-151.
- GLOOSCHENKO, W.A., 1978. Above-ground biomass of vascular plants in a subarctic James Bay salt marsh. — *Can. Fid Nat.*, 92: 30-37.
- GLOOSCHENKO, W.A. & J.A. CAPOBIANCO, 1980. Geochemistry of a subarctic salt marsh environment. — *Mar. Geol.*, 37: 231-240.
- GLOOSCHENKO, W.A. & I.P. MARTINI, 1978. Hudson Bay lowlands baseline study. Coastal zone 78. — Pages 663-679 in Proc. Symposium of technical, environmental, socioeconomic and regulatory aspects of coastal zone management, ASCE/San Francisco, 4 vol., 3,091 p.
- GRINHAM, D.F., 1980. Intertidal sedimentation in Akimiski Strait, James Bay, Canada. — M.Sc. thesis, Univ. Guelph, 178 p.
- KERSHAW, K.A., 1974. Studies on lichen-dominated systems. X. The sedge meadows of the coastal raised beaches. — *Can. J. Bot.*, 52: 1947-1972.
- KERSHAW, K.A. & W.R. ROUSE, 1973. Studies on lichen-dominated systems, V. A primary survey of a raised-beach system in northwestern Ontario. — *Can. J. Bot.*, 51: 1285-1307.
- LESLIE, R.J., 1965. Ecology and paleoecology of Hudson Bay foraminifera. — Bedford Inst. Oceanography Rep., no. 65-6, 192 p.
- MARTINI, I.P., 1981. Ice effect on erosion and sedimentation on the Ontario shores of James Bay, Canada. — *Z. Geomorph.*, 25: 1-16.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1978. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of southern James Bay, Ontario, Canada — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Tech. Memo., no. 78-1, 316 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1980. Coastal geomorphology, sedimentology, and pedology of northern James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Tech. Memo., no. 80-1, 117 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1981. Coastal geomorphology, sedimentology, and pedology of Hudson Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Tech. Memo, no. 81-1, 309 p.
- MARTINI, I.P., R.I.G. MORRISON, W.A. GLOOSCHENKO & R. PROTZ, 1980. Coastal studies in James Bay, Ontario. — *Geosci., Canada*, 7: 11-21.
- MARTINI, I.P., R. PROTZ, D. GRINHAM, W.A. KING & K.E. CLARKE, 1979. Studies of coastal sediments, soils, and biota. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Tech. Memo., no. 79-1, 290 p.
- PHLEGER, F.B., 1967. Marsh foraminiferal patterns, Pacific coast of North America. — *Ann. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. Mexico* 38, Ser. cienc. del Mar y Limnol., 1: 11-38.
- PIELOU, E.C. & R.D. ROUTLEDGE, 1976. Salt marsh vegetation: latitudinal gradients in the zonation patterns. — *Oecologia*, 24: 311-321.
- SCHAFFER, C.T., 1969. Distribution of foraminifera along the west coasts of Hudson and James Bays, a preliminary report. — *Maritime Sediments*, 5: 90-94.
- SCOTT, D.B., 1976a. Quantitative studies of marsh foraminiferal patterns in southern California and their application to Holocene stratigraphic problems. — First int. Symp. on benthonic Foraminifera of continental margins. Part A: Ecology and biology, Maritime Sediments, Spec. publ., 1: 153-170.
- SCOTT, D.B., 1976b. Brackish-water Foraminifera from southern California and description of *Polysaccamina ipohalina*, n. gen., n.sp. — *J. Foram. Res.*, 6: 312-321.
- SCOTT, D.B. & F.S. MEDIOLI, 1978. Vertical zonations of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea levels. — *Nature*, 272: 528-531.
- SCOTT, D.B. & F.S. MEDIOLI, 1980a. Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia: implications for sea level studies. — Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Spec. Publ. no. 17, 58 p.
- SCOTT, D.B. & F.S. MEDIOLI, 1980b. Living vs. total foraminiferal populations: their relative usefulness in paleoecology. — *J. Paleont.*, 54: 814-831.
- SCOTT, D.B., D.J.W. PIPER & A.G. PANAGOS, 1979. Recent saltmarsh and intertidal mud flat foraminifera from the western coast of Greece. — *Riv. ital. Paleont.*, 85: 243-266.
- SCOTT, D.B., C.T. SCHAFFER & F.S. MEDIOLI, 1980. Eastern Canadian estuarine foraminifera: a framework for comparison. — *J. Foram. Res.*, 10: 205-234.

## GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF THE ONTARIO COAST OF HUDSON BAY

I. P. MARTINI

*Department of Land Resource Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1*

### Résumé

La côte ontarienne de la baie d'Hudson est généralement basse (0,5-0,7 m/km) et s'étend sur 580 km. Ses caractères changeants traduisent l'influence de la structure du substrat rocheux, l'abondance des matériaux meubles disponibles ainsi que les processus marins dominants. L'ensemble de la structure du substrat paléozoïque comprend deux secteurs. Le premier, à l'ouest de Winisk, orienté N.O.-S.E., se caractérise par plusieurs affleurements rocheux de différentes formations. Le second, orienté E.-O. à l'est de Winisk est plus uniforme et possède un substrat de calcaires reposant sur le bombement anticlinal du cap Henrietta Maria. Ces deux secteurs littoraux peuvent aussi se différencier par l'abondance des marais, des cordons littoraux émergés, des promontoires ou des embouchures de rivières dont quelques-unes sont fermées par des flèches littorales les isolant des lagunes. Les côtes dominées par les marais et par les lagunes derrière les flèches littorales changent au fur et à mesure que le continent émerge isostatiquement. La comparaison de photographies aériennes de 1954 et de 1976 révèle la progression des marais; certains sur 400 m, pour une superficie totale de 3,3 km<sup>2</sup> dans une section de 6 km de longueur. De la même manière, de nouveaux cordons littoraux se sont développés à partir de formes embryonnaires, s'avancant légèrement vers les terres et se rétrécissant progressivement vers la mer. Dans certains secteurs du littoral à lagunes, aucune progression n'a été décelée sinon un léger retrait du rivage (d'environ 300 m); toutefois, les lagunes deviennent de plus en plus protégées et se referment progressivement; certaines parties émergent et sont à leur tour envahies par les marais.

### Abstract

The Ontario coast of Hudson Bay is 580 km long, and generally flat (0.5-0.7 m/km). Its variable features reflect the strength and structural setting of the substratum, the amount of material available to the nearshore environments, and the predominant marine processes. The overall structure of the Paleozoic bedrock differentiates the Ontario coast into two segments. The NW-SE trending section west of Winisk is varied and characterized by numerous outcrops of different rock formations. The east-west trending tract east of Winisk is more uniform and underlain primarily by a single carbonate rock unit deposited on the flank of the Cape Henrietta Maria Arch. Those shores can be further subdivided according to dominance of marshes, beach ridges, promontories, or river mouths — some showing beach ridges enclosing lagoons. The coasts dominated by marshes and those with lagoons behind the coastal ridges change rapidly as the land emerges isostatically. A comparison between air photographs taken in 1954 and 1976 indicates that some marshes have prograded up to 400 m, with approximately 3.3 km<sup>2</sup> of new marsh formed over a 6.0 km long reach. Similarly, new ridges have developed from embryonic forms, migrating slightly landward and progressively straightening on the seaward side. Some coasts dominated by lagoons show no progradation or a slight average retreat of the shoreline (approximately 300 m), but their lagoons become increasingly protected and restricted, and parts of them emerge to form new marshes.

### Introduction

The Ontario coast of Hudson Bay is one of the longest, flat lying, emergent (due to isostatic uplift) coasts in the world. It borders

a cold, mesotidal sea, covered with ice for approximately six months of the year (Dohler, 1968; Martini & Protz, 1981). During emergence the coast develops characteristic landforms such as the well known sequences

of raised beach ridges. The resultant varied landscape is utilized by migratory birds as breeding and staging grounds and also by caribou. Until recently little was known about the ecology, geomorphology and sedimentology of this coast (Dohler, 1968; Clerc, 1969; Haworth *et al.*, 1978), however an intense ecological study has been carried out in the past five years along the Ontario coasts (Martini & Protz, 1981). This paper reports on the results of that study pertaining to coastal geomorphology. The objectives of this paper are to describe the most important characteristics of the Hudson Bay coast, to suggest processes and rates of formation of selected coastal landforms, and to subdivide the coast according to the predominance of occurrence of selected geomorphological and geological features.

The coast has been subdivided into four recurring categories: 1) Coasts dominated by marshes, 2) Coasts dominated by longitudinal beach ridges, 3) Headlands, and 4) Estuaries of major rivers. This subdivision is based on direct observations through overflights (several in five summers), detailed sedimentological study of selected coasts by surveyed transects running from the lowest tide mark to the upper marsh (Martini & Protz, 1981), and measurements of air photographs from 1954-1955 and 1976. The air photographs of different aerial surveys were calibrated by comparing stable sites inland from the active coast, and where possible, calibrating coastal features with the surveyed transects. Measurements of distances and areas on the photographs were made using a semi-automatic digitizing table (MOP by Zeiss), and manual checks. Most measurements were made toward the central, less distorted portions of the photographs and as close as possible to the calibration points.

### Types of coast

On the basis of the frequency of occurrence of the major categories, the Ontario coast can be divided into two areas. An eastern tract from Cape Henrietta Maria (CHM, Fig. 1) to Winisk is composed primarily of wide promontories with occasional poorly developed irregular beach ridges, and wide, shallow marshes. A western NW-SE trending tract from Winisk to the Manitoba border is characterized by narrow promontories and regular reaches with sets of parallel beach ridges.

Coastal morphology closely reflects the geology of the Paleozoic bedrock (Pelletier, 1968). The substratum of the easternmost part of the coast is the Silurian Severn River formation ( $S_1$ ; limestones and dolostones) which was deposited over and around the Precambrian ( $P\epsilon$ ) high of Cape Henrietta Maria (CHM; Fig. 1). In the west, younger Silurian and Devonian formations form the substratum, and outcrop along the coast in a semicircular pattern. Between the Winisk and Severn rivers a slightly higher promontory area is associated with the reefal members of the Attawapiskat formation ( $S_3$ ; Cummings, 1968; Norris & Sanford, 1968; Sanford *et al.*, 1968). West of the Severn, variable Devonian carbonates generate a sequence of well defined promontories alternating with wide embayments where softer rocks outcrop.

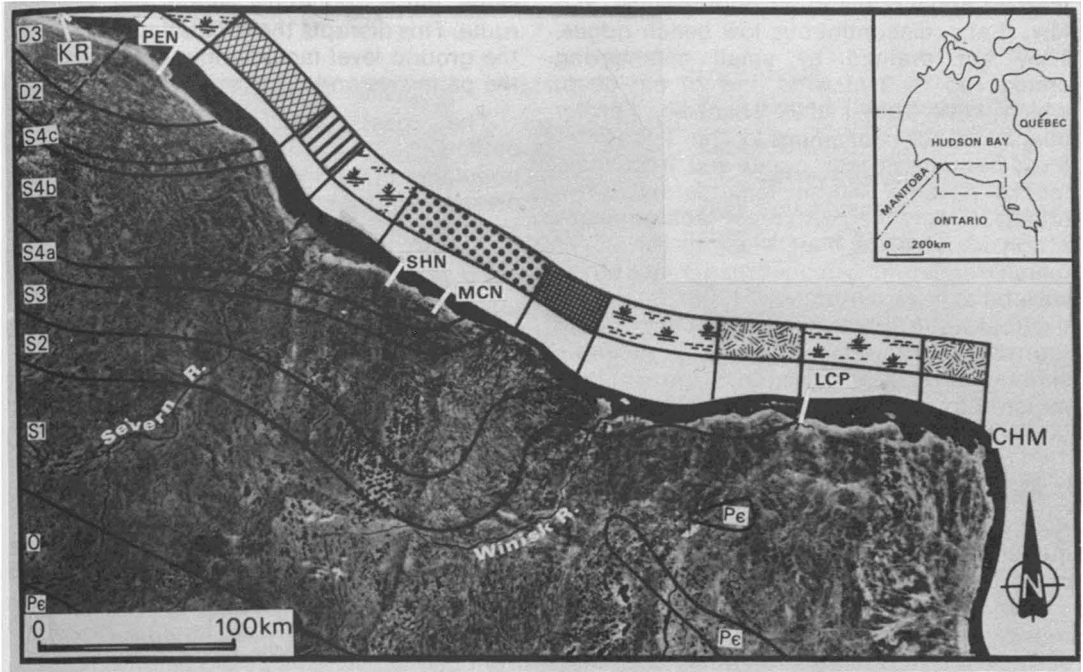
Although the inland regions are covered with thin glacial tills locally moulded in shallow drumlinoid features, the Pleistocene legacy is not clearly visible in the immediate vicinity of the coast (Craig, 1968; Prest, 1970). Glacial influences consist of dislodging and local re-working of boulders of carbonate bedrock, transportation of igneous and metamorphic erratics which were later redistributed by rivers and sea-ice, and generation of long, till and boulder ridges perpendicular to the coast. However, the major effect of glaciation is the vertical isostatic crustal movement which has led to the emergent Holocene coastal features formed during the regression of the early post-glacial Tyrrell Sea (Andrews, 1968; Lee, 1968).

### COASTS DOMINATED BY MARSHES

Coastal marshes occur in areas sheltered from the direct impact of storm waves, in wide re-entrants of the mainland, in updrift areas of natural obstructions such as narrow promontories, shoals and islets, and near mouths of major rivers. Such shores generally experience a relatively high rate of sedimentation, as longshore currents and tides carry in and release materials both on the tidal flats and in the marshes.


#### *Marshes not affected directly by streams*

Sedimentary sinks in wide embayments and in areas upflow from coastal obstructions (promontories, shoals, islands), develop wide marshes which grade into the tidal flats (Martini & Protz, 1981). They have a





**COASTS**



**DOMINATED BY:**

- MARSHES  Marshes

---

- BEACH  Longitudinal ridges
- RIDGES  Barrier beaches, longshore spits

---

- HEADLANDS  Promontories with cusped headlands
-  Promontories, sand starved

---


- RIVER MOUTHS  Estuaries of major rivers

Figure 1. Geology and types of coast of the Ontario shore of Hudson Bay. Geological sequence — Devonian: D3, Kwataboahagan formation; D2, Stooping River formation. Silurian: S4c, Upper Kenogami River formation; S4b, Middle Kenogami River formation; S4a, Lower Kenogami River formation; S3, Attawapiskat formation; S2, Ekwon River formation; S1, Severn River formation. Ordovician, O. Precambrian, Pe. KR, Kettle River.

mottled appearance in air photographs, and few, if any, discontinuous low beach ridges. They are drained by small meandering creeks (up to 2 m wide and 30 cm deep) which have very stable channels. Farther inland, at the transition to the freshwater fens, permafrost may occur and frost hummocks develop. These features have two effects. Firstly, the permafrost table provides a considerable input of water to the upper marsh, rendering it fresher than might otherwise be expected (Kershaw, 1976). Secondly, the frost mounds, which may occur throughout the marsh, are sufficiently high to generate slightly drier conditions, and low to high marsh microsequences in salinity and vegetation develop on them (Martini & Protz, 1981).

Those marshes not directly affected by river outflow contain large numbers of the mollusc *Macoma balthica* in the intertidal area, with mature individuals concentrated in the lower flats and the smaller juveniles in the middle and upper flats. The vegetation shows a landward transition from *Puccinellia phryganodes* in the colonizing zone and lower marsh, to *Carex subspathacea* in the upper marsh, and a *Festuca rubra*-*Salix* zone at the transition to the beach ridge and tundra types.

#### *Marshes affected directly by streams*

Large marshes develop near river mouths, particularly on their downdrift, eastern side where a considerable amount of fluvial silt is trapped. Generally, they have a mottled appearance in air-photographs, few isolated, discontinuous, low, beach ridges, and are drained by small meandering creeks with stable banks. Some marshes are greatly affected by ice scour, from grounding ice floes or ice-pushed boulders. This is the case particularly where river or sea ice is piled against the shore at the channel mouths (Martini & Protz, 1981). These marshes are dissected by irregular deep pools, acquiring a well defined jig-saw pattern (Martini, 1981a). This pattern can also develop, although less frequently, on promontories or other settings where boulders are pushed about by ice-foot formation, generating scours which are the precursors of marsh pools. In jig-saw marshes, the ponds are joined by narrow irregular creeks, forming a beaded pool-creek drainage pattern. Trampling by waterfowl is one cause of formation of these interconnecting creeks. The birds move frequently, from one pond to the next, following the

same paths, generally along the shortest route. This disrupts the vegetation and lowers the ground level facilitating mud-cracking of the pathways and erosion by tides.

The coasts affected directly by river outflow have a stunted tidal flat infauna population (Martini & Protz, 1981). Where present, large numbers of juvenile and spat-sized *Macoma balthica* occur. The colonizing plant, *Hippuris tetraphylla*, also dominates in the lower brackish part of the marsh. Farther inland a *Hippuris-Puccinellia phryganodes* association develops, grading landward into a *Carex subspathacea* type. The pools of the upper marsh are colonized by *Hippuris tetraphylla* and *Senecio congestus*. The transition to the coastal fens or tundra, is marked by *Festuca rubra* and *Salix* associations.

#### COASTS DOMINATED BY BEACH RIDGES

Along the Ontario coast of Hudson Bay there are many types of beach ridges, grading from poorly developed sand patches in some semi-restricted embayments to fully developed flights (as in "flight of stairs") of longitudinal ridges (TRN, Fig. 2A). Some beach ridges form in the upper parts of tidal flats, others at the shoreline. Some are long and continuous, terminating downcurrent into spit-ends, while others are short, semi-arcuate landwards and disposed in an echelon fashion. Beach ridges are the result of storm waves which rework material from the tidal flats and pile it up onshore.

*Longitudinal ridges* characterize regular, long and exposed coasts (Fig. 2). These ridges are high (3 m), wide (50 m) and flat-topped with long (15 m), steep (8°) beach faces and a short (10 m), steep (15°) back-face. They are cut into segments of several hundred metres each by tidal creeks and minor streams. Generally they form as embryonic ridges in the upper part of the tidal flat and migrate landward becoming amalgamated into longer and more continuous barriers. In most instances, ridges do not develop large lagoons because their back areas are drained effectively by tidal and freshwater creeks. Only those beach ridges that form in the proximity of intermediate size streams develop relatively large, persistent, narrow lagoons (Fig. 2B). In those areas, much of the drainage is captured inland by the major streams, and the coastal lagoons are fed by relatively large amounts of river-generated silt. The beach ridge-lagoon sys-



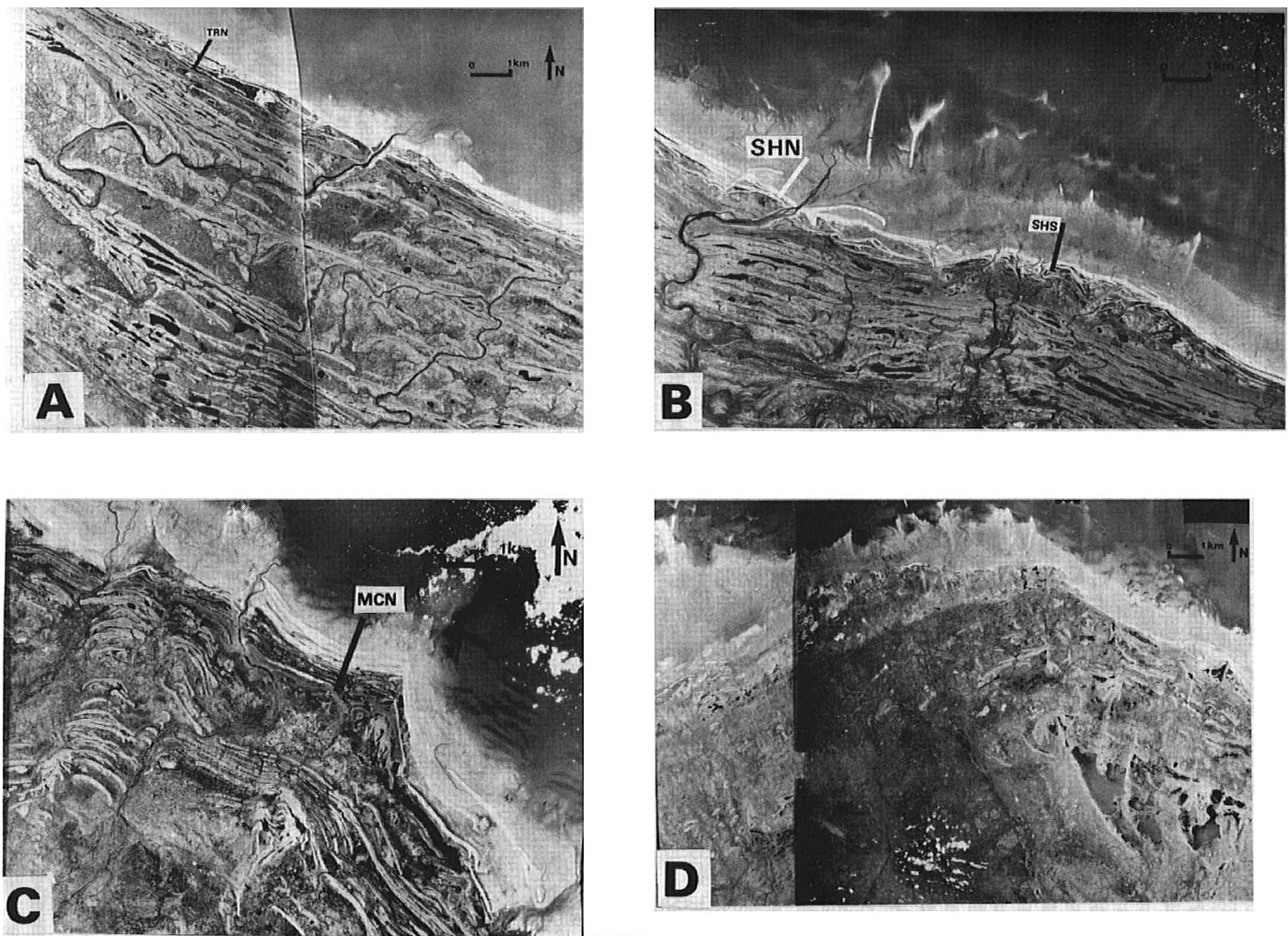


Figure 2. Typical coasts of Hudson Bay. A, Regular longitudinal ridges; B, Longitudinal ridges modified by "spike like" transverse ridge; C, Cusped headlands; D, Large headland with "spike like" transverse ridges at the coast and raised long trends of cusped landscapes inland.

tems can be dissected by fluvial floods and healed by tides and wave transported sediments. The mouth of the Shagamu River (SHN, Fig. 2B) has switched across the adjacent coastal ridges at least three times during the past 25 years.

On the downflow (eastern) side of long promontories, where a strong longshore current is generated by refracting waves, the ridges are fewer but higher, more continuous and stable (Fig. 1). They become barrier beaches that effectively impede the inland penetration of tides for long (tens of kilometres) tracts. The back swales receive rain water and drainage from coastal fens, and salt water during occasional storm surges. Thus they develop brackish to freshwater marshes and ponds very close to shore.

In other areas, the regular development of the longitudinal ridges is disturbed by the presence in the lower intertidal and shallow subtidal zone of narrow, low 'spike-like' transverse ridges, possibly flutings of glacial origin. These subdued transverse ridges disrupt the regular flow of onshore tides and the approach of the waves, such that the resultant shoreline longitudinal ridges are discontinuous, contorted and have a 'worm-like' appearance in air photographs (SHS, Fig. 2B).

Another feature of coasts with longitudinal ridges, although relatively rare in occurrence, consists of sets of a few (3-5) hook-shaped relatively small ridges that generally rim the western banks of the mouth of intermediate-sized rivers. The long side of these small hooked ridges is parallel to the main shore and the hook parallels the bank of the stream. They are highly visible from the air because they form isolated, dry, regularly patterned zones on coasts dominated by wet, flat, marshy conditions.

The transition between the beach ridges and the tidal flats is sharp. Generally no high (algal covered) tidal flats are developed and the ridges grade either into erosional intertidal areas, as is the case near promontories on coasts with long barrier beaches, or into sandy tidal flats. The sand flats have well developed rippled beds, a few have incipient sand waves, and fewer still, particularly those near the mouth of intermediate streams, show well developed subaqueous dune fields in the middle tidal flats. Throughout these flats there is a restricted but abundant population of *Macoma balthica*. Large (12 mm) adults are common in the lower flats, and

high densities of spat are found in the upper tidal flats (Martini & Protz, 1981).

The longitudinal ridges are capped by foredunes colonized by *Honkenya peploides* and *Elymus mollis*. Most of these dunes are small and partially deflated. Where a large amount of sand is available, the dunes persist into the interior where they are eventually covered and protected by tundra vegetation. In most cases, they remain as isolated low patches of sand over deflated surfaces of fine gravel. The interridge areas develop wetlands, ranging from algal covered lagoons to interridge salt marshes. The marshes have a bilateral symmetry. *Puccinellia phryganodes* dominates the central portion near the tidal creek, and grades laterally towards both bounding ridges into a *Carex subspatheacea* vegetation type in the upper marsh, and finally into *Festuca rubra*-*Juncus arcticus* and stunted *Salix* associations at the foot and edges of the beach ridges. Near intermediate rivers, the coastal swales develop a thick, continuous cover of *Salix*. Farther inland the swales develop into fens and bogs with wet permafrost features such as peat plateaus and palsas.

Beach ridges are best developed in the area between Severn and Winisk, where evaporitic red beds of mudstone, siltstone, sandstone, and dolostone of the Upper Silurian Kenogami formation (S<sub>4</sub>, Fig. 1; Norris & Sanford, 1968) allow formation of regular, long, open coasts.

#### HEADLANDS

This category covers a great variety of small and large coastal promontories. Most headlands are erosional (Figs. 1, 3), but others have depositional features, such as cusped headlands, which although geomorphologically well defined are not readily distinguishable sedimentologically from other coasts with longitudinal ridges (Fig. 2C).

Where beach ridges form on headlands, their position and patterns are largely dictated by resistant, carbonate substratum outcrops. Accordingly, *small headlands* rimmed by coastal sand and gravel (fine pebbles) ridges develop around small bioherms, particularly in the area underlain by the Devonian Kwatabohegan formation (D3, Fig. 1; Norris & Sanford, 1968). *Large cusped* headlands form along better defined reefal trends, such as in the area underlain by the Attawapiskat formation (S3, Figs. 1, 2C; Norris & Sanford, 1968). Because of the long reefal trends, the

conditions for the formation of cusped headlands persist in time as the land emerges, and elongated systems are preserved inland in the raised Hudson Bay lowland (Figs. 2C, D).

Most other promontories of the Hudson Bay coast are sand starved and have substratum outcropping in the intertidal areas, locally covered by a discontinuous thin veneer of sand and silt (Fig. 2D). The slopes of the intertidal areas are associated either with the gentle dip of the Paleozoic bedrock toward the centre of the basin, or the steeper slopes generated by localized Paleozoic reefs or Pleistocene till deposits. Differential glacial erosion of bedded bedrock has generated a series of low, long, southward trending flutings which can be recognized along some coasts as "spikes" or narrow transversal ridges extending from the intertidal into the subtidal zone (Fig. 2D). These transverse ridges are grounding locations for coastal sea ice, and occasionally modify the drainage pattern by forcing small streams and tidal creeks to follow their straight western (updrift) flanks.

These promontories characterize those parts of the coast east of Winisk, which are underlain by various lithologies ranging from thin to medium bedded limestones and dolostones of the Silurian Severn River ( $S_1$ ) and Ekwano River ( $S_2$ ) formations (Fig. 1; Norris & Sanford, 1968).

### LITTLE CAPE PROMONTORY

(LCP)

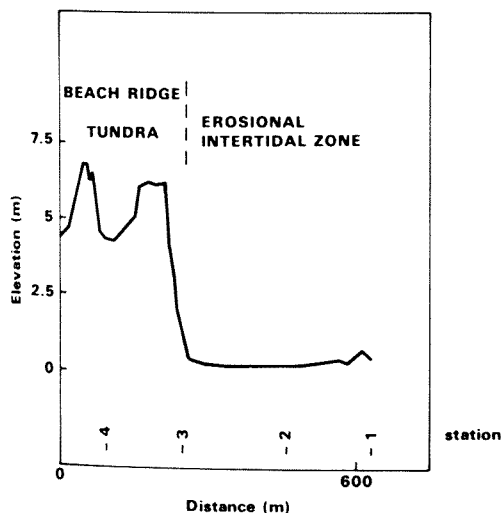


Figure 3. Survey of Little Cape Promontory (LCP, fig. 1).

### ESTUARIES

Along the Ontario coast of Hudson Bay there are two major rivers (the Winisk and the Severn), numerous intermediate ones such as the Sutton, Shagamu and Niskibi, and many minor ones draining the inland fens and bogs and the coastal marshes (Fig. 1). They all carry a considerable amount of water throughout the year. The two major rivers each carry about 45 billion litres of water to the sea per day (Hutton & Black, 1975). The sedimentary load varies greatly from stream to stream, but in general the bulk of it is transported during short spring to early summer floods. Only qualitative observations [OME, 1971 (Map 2006-10)] of the amount of sediment at the river mouths exist. To adjust to the rising land, the rivers cut into the substratum. The large and intermediate rivers have the power to cut through the Pleistocene-Holocene drift down to the carbonate bedrock. Their high banks provide considerable amounts of sediment to the river at break-up. The sedimentary load is not however, high enough for the streams to develop constructive deltaic wedges of any significance; much of the material carried to sea is deposited as drapes on shoals, or redistributed on adjacent tidal flats and marshes.

The small streams carry water and organic material to sea, and minor amounts of silt which is eventually redistributed on coastal lagoons and marshes. Their river mouth features are strongly affected by local coastal conditions. Where obstructed and influenced by growing coastal beach ridges, the streams terminate in single or a few major channels. Where wide marshes exist, the streams split into numerous anastomosing channels forming a funnel-shaped coastal landscape (Fig. 4).

### Progradation of the coast

Fairbridge & Hillaire-Marcel (1977) studying beach ridge sequences in Québec have determined an average formation of one ridge every 45 years for the past 8000 years. D'Anglejan (1980), in analyzing Rupert Bay, measured a progradation of some marshes in the order of 300 m over a 21 year interval. The known dates of Holocene sediments in the Hudson Bay lowland indicate that the average present rate of uplift of the land is approximately 0.7 m/century (Barnett, 1966; Webber *et al.*, 1970). Considering that the

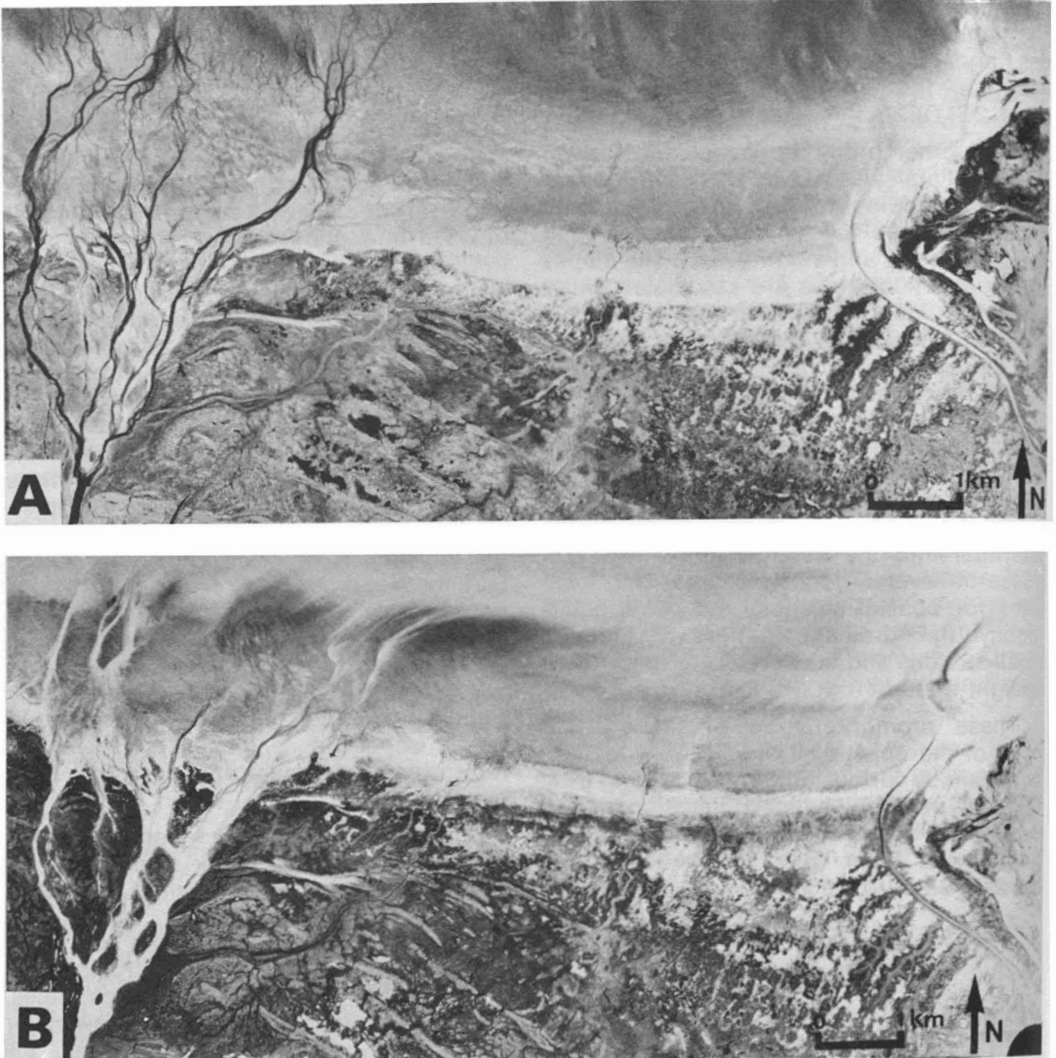


Figure 4. Emergence of a marsh east of the mouth of Black Duck River, at the Ontario-Manitoba border. A, Delta and marsh as seen in air-photographs flown in 1954; B, Same area as seen in 1976 air-photographs.

average slope of the coast of the Hudson Bay lowland is approximately 0.5 m/km, approximately 1-2 km of land should be exposed per century. To determine the reliability of these predictions, and analyze some geomorphological processes active during emergence, air-photographs of selected coastal types, flown in 1954-55 and in 1976, were studied. The analysis was restricted to the shores west of Winisk where the greatest variety of coastal types exists (Table I).

Coastal changes are discernible, but most are not large enough to be measured reliably on available air-photographs, or are temporary and related to storm events. Marshes and lagoons are more susceptible to permanent change, but not all modifications have necessarily led to progradation of the coast. The maximum recorded progradation was found on river-dominated marshes (500 m) and on some small ridges and headlands (200 to 300 m) (Figs. 4, 5; Table II). Certain promontory and straight coasts have not moved

TABLE I

Types of coasts and their respective lengths

Zone		Marshes			Longitudinal beach ridges			Headlands			Length of coastline in zone (km)
		Brackish		Salt	At river mouths	Open coasts	Barrier beaches downdrift from large promontories	With beach ridges	With spikey transverse ridges	Large irregular promontories	
		Anastomosing estuaries	Near river mouth								
Kettle River (Manitoba) to West Pen	Total unit* length	2.93	5.77	9.11	1.66	3.23		2.81			36.64
	Number of units*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00			
	Average unit* length	2.93	5.77	9.11	1.66	3.23		2.81			
West Pen Island to Severn River	Total unit* length		6.68	19.95	18.94	31.84	12.94	11.79		16.32	149.94 (including Severn Est. = 1.66 km)
	Number of units*		1.00	1.00	4.00	5.00	3.00	2.00		2.00	
	Average unit* length		6.68	19.95	3.79	6.37	4.31	5.89		8.16	
Severn River to Winisk River	Total unit* length	7.24	29.12	46.17	1.37	61.82	6.71	7.42**			195.09 (including Winisk Est. = 4.21 km)
	Number of units*	5.00	7.00	4.00	1.00	12.00	2.00	2.00			
	Average unit* length	1.45	4.16	11.54	1.37	5.15	3.35	3.71			
Winisk River to Sutton River	Total unit* length	0.60	15.92	40.70	15.33	10.88			3.30	19.06	108.72 (including Sutton Est. = 3.27 km)
	Number of units*	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00			1.00	2.00	
	Average unit* length	0.60	7.96	13.57	5.11	3.63			3.30	9.53	
Sutton River to Cape Henrietta Maria	Total unit* length	6.84		82.40					6.08	19.04	118.61
	Number of units*	2.00		3.00					1.00	2.00	
	Average unit* length	3.42		27.47					6.08	9.72	

Total length of coastline (including width of estuaries) : 609 km

\* A unit is defined as a discrete, continuous occurrence of a coastal type.

\*\* Cuspate headlands.

at all, or are within the measurement error of the available air-photographs ( $\pm 30$  m), and there are indications of local coastal retreat on the order of 50-100 m (Table II). Similarly, landward migration of beach ridges produces negative values of coastal progradation as measured from inland benchmark points (Table II). However, landward migration of ridges on the upper part of the tidal flat is accompanied by development of better barriers and further enclosure of their associated lagoons. Thus, as much as 2.2 km<sup>2</sup> of emergent lagoonal areas have been formed over the last 20 years along a 13 km long tract of the coast (Table II).

Some interesting phenomena occur during the evolution of ridge-lagoon sys-

tems. Generally, all the ridges of the modern coast were present on the 1954 air-photographs as embryonic lunate features in the upper intertidal areas (Fig. 5). As indicated by landward dipping forests observed in pits, the beach ridges develop through addition of sand and fine gravel around and over embryonic cores. Observations on air-photographs, over-flights and visits during the past five years, show that these ridges have joined laterally, straightened their seaward sides, developed slight recurves and migrated landward. The ridges generally have an en échelon distribution. Eventually, the younger seaward units cut off the supply of materials, and protect the older inland beach ridges from all but the highest storm surges. The older ridges are then partially

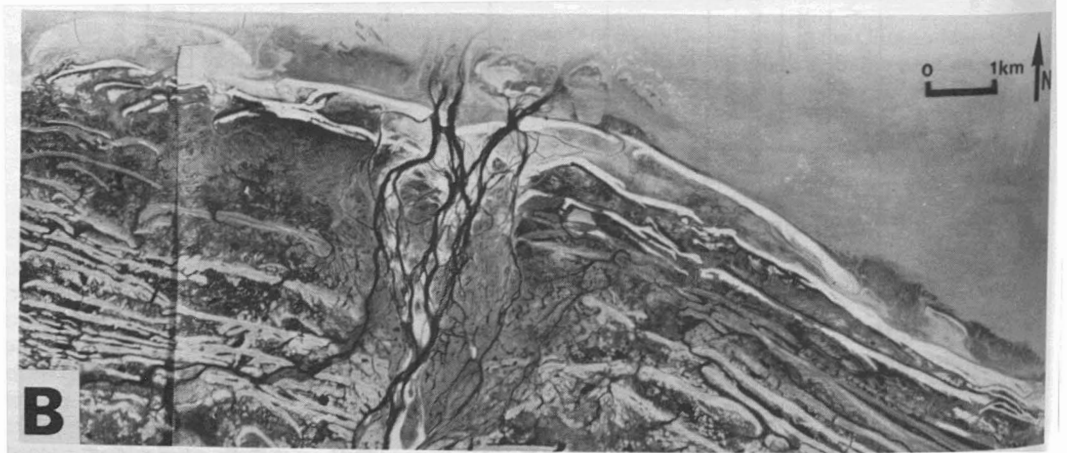


Figure 5. Emergence of a lagoonal coast at the mouth of the Kettle River, approximately 25 km west of the Ontario-Manitoba border. A, Delta, beach ridges and lagoons as seen in air-photographs flown in 1954; B, Same area as seen in 1976 air-photographs.

deflated and assume a relatively flat and wide top. Foredunes may form around clumps of *Elymus mollis* and *Honkenya peploides*, and on large ridges, dune remnants may be preserved when raised in the lowland.

During uplift, modifications occur to the coastal landscape. Organic matter accumulates in the marshes and lagoons, and permafrost develops generating rises (30-50 cm) on the flanks of ridges and in the inter-ridge zones. These highs support either lichens, or farther to the south, forests, obscuring the trend of the beach ridges. However, nearer the coast (generally for 30 to 60 km from the present shoreline) the coastal features are readily recognizable. A cursory examination of this zone reveals wide flights of irregularly spaced beach ridges (Figs. 2A, B). The flat coasts of Hudson Bay are sensitive to any wave-resistant substratum inhomogeneity. In many instances, Pleistocene bouldery pods, or small bedrock reefs form the *fulcrum* for small headlands, cusped shorelines and other similar features. Also, slight variations in slope may trigger deviations of the coast, forming well defined geomorphological discontinuities, or may temporarily inhibit development of beach ridges (Fig. 2A). The resulting landscape is characterized by alternating zones of closely spaced parallel beach ridges with bands of flat or irregularly ridged land. It is believed that whereas large storms, and the availability of gravel and sand along the coast are necessary conditions for the formation of coastal ridges, the types of features and their spacing are also strongly dependent on the local topography of the substratum. The recurring beach ridges of Hudson Bay do not necessarily require anomalously high intensity storm periods associated with long term climatic cyclicity such as the "Double-Hale" 45 year cycle for their formation (Fairbridge & Hillaire-Marcel, 1977). Apparently they can form as the land emerges through isostatic rebound, under the normal recurring annual climatic and oceanographic conditions of that coast.

### Conclusion

The shallow, wide Ontario coast of Hudson Bay is the product of a complex geological history which includes carbonate sedimentation in shallow Paleozoic seas, glaciation of the landscape during the Pleistocene, subsequent Holocene isostatic rebound and regression of post-glacial seas. Small inhomogeneities of the substratum, such as

wave resistant reefs or local accumulations of boulders transported by glaciers and then ice-rafted or ice-pushed by sea ice, suffice on this flat shore to refract waves and deflect tidal currents and generate characteristic landscapes. Accordingly, wide, shallow promontories are associated with more resistant reefal and crystalline carbonate formations of the substratum. Locally, these promontories are modified by a series of long, narrow protuberances which extend into the shallow subtidal zone. These 'spike like' transverse ridges are probably associated with glacial flutings, enhanced by being preferred locations for the formation of ice-push ridges and deposition of ice-rafted material. However, these narrow protuberances do not develop into "chevron ridges" as in James Bay where abundant sand is redistributed by powerful counterclockwise longshore currents (Martini, 1981b; Martini *et al.*, 1980). In Hudson Bay, some of the higher, narrow, long, transverse ridges associated with Paleozoic reef tracts become the *fulcrum* of development of small spits which form cusped headlands. During emergence these cusped headlands persist with the same recurring characters and orientations for several kilometres.

On a smaller scale, the influence of the bedrock on the formation of coastal types is reflected in the development of "small headlands". These features are composed of nuclei formed of resistant shallow reefs which become ornamented with small spits along their flanks. The distribution of these bioherms and associated rimming spits is maintained in the raised lowland, and the Silurian and Devonian reef tracts can be readily mapped, even under peat and forest cover.

The most characteristic coastal landscape of Hudson Bay is the wide series of longitudinal beach ridges that have been, and are being formed on those flat-lying coasts facing the long northeastern fetches of the open bay. A cursory examination of these systems gives the impression of regularity, both in shape and periodicity of the ridges. In effect, the ridges vary from spits that have migrated preferentially to the southeast, to recurved forms which have developed in the upper intertidal zones and have migrated slightly landward. Contrary to a widely held belief, these ridges do not form rapidly during one or a few storms. They are storm features, but continue to develop, to be modified, and migrate over a span of ten or more years,

TABLE II  
Coast progradation (1954 to 1975)\* (Negative values indicate regression)

Zone	Type of coast	Photo number	Length (km)	Progradation (km) (average)	Marsh (km <sup>2</sup> )			Lagoon (km) <sup>2</sup>			
					Area of old marsh (A)	Area of modern marsh (B)	Area of new marsh created (B-A)	Area of old lagoon C	Area of new marsh D	Area of modern lagoon E	Area of new lagoon created [(D + E) - C]
Kettle River (Manitoba) to West Pen Island	Marsh	A24225-158	5.77	0.41	3.80	7.06	3.32				
	Longitudinal beach ridges	A24225-215	11.13	0.10				1.30	0.186	3.29	2.17
		A24225-217	1.66	0.22							
	Small headland	A24225-217	3.23	0.23							
A24225-217		2.81	0.06								
West Pen Island to Severn River	Marsh	A24225-142 to 153	19.94	0.04	12.08	12.11	0.07				
	Longitudinal beach ridges	A24126-180 & A23811-85	13.02	-0.165				3.63	0.335	5.49	2.16
		A24225-82	7.20	0.33				0.348	0.134	0.922	0.708
		A24128-4 A23811-86	3.10 12.76	0.17 0.23				0.306 1.029	0.271 0.552	0.375 1.51	0.340 1.03
	Barrier beach ridges	A24225-86	5.40	0.25							
	Small headlands	A24225-86	3.45	0.33							
Severn River to Winisk River	Marsh	A23811-90	9.30	0.27	4.70	5.00	0.30				
	Longitudinal beach ridges	A24472-80 to 82	4.74	0.30				0.816	0.391	0.566	0.141



	A24484-136	7.02	0.23			1.009	1.058	0.900	0.900
	A24456-98	5.86	0.13			0.230	0.226	0.629	0.629
	A25035-143	2.63	0.21			1.365	1.117	0.994	0.745
	A24484-197	4.04	0.045			1.013	0.669	0.703	0.359
	A24484-137	3.03	0.05						
	A24472-88	5.91	0.12						
Barrier beach ridges	A24472-85	3.95	-0.03						
	A24472-85 & A24472-80 to 82	2.76	-0.09						
Cusate headland	A24484-137	9.20	0.02						
	A24484-137	3.48	-0.04						
Headlands with 'spike-like' small transverse ridges	A24472-88	7.53	0.03						
	A24472-85	2.94	-0.02						

\* Operator errors in utilizing commercial air-photographs are great, and accuracy is within  $\pm 50$  m.

until they are cut off from the open sea by new ridges formed in the intertidal zone. Their spacing has no direct relationship to recurring anomalously stormy weather, rather it is greatly tempered by the topography of the emerging substratum. Accordingly, changes in coastal orientation with associated geomorphological unconformities occur, and zones of regularly and tightly grouped ridges alternate with zones of no ridge development.

A somewhat related problem is the apparent discrepancy between the long-range estimated rate of uplift of the region, and the documented rate of coastal emergence. The available estimates indicate the present rate of uplift to be approximately 0.5 to 0.7 m per century. This is also assumed to be the rate of emergence of the coast. Considering that the coast has a slope of approximately 0.5 to 0.7 m/km, it is expected that on the average, one kilometre of new land emerges every century. This is indeed the case in some protected marshes where rates of progradation, possibly enhanced by local high rates of sedimentation, of approximately 300 m per 15 years have been measured. However, other coasts show very little change in the past 15-20 years, and some may have undergone erosion and transgression. If these observations have any significance at all, negative or no coastal changes may be explained by a variety of factors. These factors include: a reduced rate of isostatic uplift and reduced rates of coastal emergence, and perhaps a period of intensely destructive storms which have negatively affected the more exposed coasts.

### Acknowledgments

The field portion of this study was performed as part of the HBL Project. Funds were provided by Environment Canada and NSERC (Grant no. A7371). Ocean and Aquatic Services, Central Region, provided helicopter support. I wish to thank the colleagues of the HBL Project for discussions and enduring common field adventures. W. Glooschenko identified the coastal vegetation. I wish to thank in particular Ms. P. Farnsworth who made all measurements on air photographs, and helped in making the final manuscript more readable; and Ms. K. Clarke who critically read the final manuscript.

### References

- ANDREWS, J.T., 1968. The pattern and interpretation of restrained post-glacial and residual rebound in the area of Hudson Bay. — Pages 49-62 in P.J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 389 p.
- BARNETT, D.M., 1966. A re-examination and re-interpretation of tide gauge data from Churchill, Manitoba. — *Can. J. Earth Sci.*, 3: 77-78.
- CLERC, L., 1969. Climatology and oceanography of Hudson Bay. — Aquitaine Co. of Canada Ltd., Calgary, Alta., 105 p.
- CRAIG, B.G., 1968. Late-glacial and postglacial history of the Hudson Bay region. — Pages 63-77 in P.J. Hood (ed.) Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 389 p.
- CUMMINGS, C.M., 1968. Rivers of the Hudson Bay lowland. — Pages 144-169 in P.J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 389 p.
- D'ANGLEJAN, B., 1980. Effects of seasonal changes on the sedimentary regime of a subarctic estuary, Rupert Bay (Canada). — *Sedimentary Geol.*, 26: 51-68.
- DOHLER, G.C., 1968. Tides and currents. — Pages 824-837 in C.S. Beals (ed.). Science, history and Hudson Bay. Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1057 p.
- FAIRBRIDGE, R.W. & C. HILLAIRES-MARCEL, 1977. An 8000 year paleoclimate record of the "Double-Hale" 45 year solar cycle. — *Nature*, 268: 413-416.
- HAWORTH, S.E., D.M. COWELL & R.A. SIMS, 1978. Bibliography of published and unpublished literature on the Hudson Bay lowland. — Report no. O-X-273, Canadian Forestry Service, Dept. of the Environment, Sault Ste. Marie, Ontario, 270 p.
- HUTTON, C.L.A. & W.A. BLACK, 1975. Ontario arctic watershed. — Lands Directorate, Environment Canada, 107 p.
- KERSHAW, K.A., 1976. The vegetation zonation of the east Pen Island salt marshes, Hudson Bay. — *Can. J. Bot.*, 54: 5-13.
- LEE, H.A., 1968. Quaternary geology. — Pages 503-543 in C.S. Beals (ed.) Science, history and Hudson Bay, Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1057 p.
- MARTINI, I.P., 1981a. Ice effect on erosion and sedimentation on the Ontario shores of James Bay, Canada. — *Z. Geomorph.*, N.F., 25: 1-16.
- MARTINI, I.P., 1981b. Morphology and sediments of the emergent Ontario coast of James Bay, Canada. — *Geogr. Annlr.*, 63A: 81-94.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1981. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of Hudson Bay, Ontario, Canada. — Land Resource Science, Tech. Memo. no. 81-1, Univ. Guelph, Ont., 322 p.
- MARTINI, I.P., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE, 1980. Geomorphology of southwestern James Bay: A low energy, emergent coast., — Pages

- 293-301 in S. B. McCann (ed.). The coastline of Canada. Geol. Surv. Can., Paper no. 80-10, 439 p.
- NORRIS, A.W. & B.W. SANFORD, 1968. Paleozoic and Mesozoic geology of the Hudson Bay lowlands. — Pages 169-206 in P.H. Hood (ed.) Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 389 p.
- ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, 1971. Water resources survey, northern Ontario, Map 2006-10 — Hydrometric stations. Toronto, Ontario.
- PELLETIER, B.R., 1968. Submarine physiography, bottom sediments, and models of sediment transport in Hudson Bay. — Pages 100-135 in P.J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. Geol. Surv. Can., Paper no. 68-53, 389 p.
- PREST, V.K., 1970. Quaternary geology of Canada. — Pages 677-764 in R.J.W. Douglas (ed.). Geology and economic minerals of Canada. Geol. Surv. Can., Econ. Geol., Report no. 1, 838 p.
- SANFORD, A.W., A.W. NORRIS & H.H. BOSTOCK, 1968. Geology of the Hudson Bay lowland (Operation Winisk). — Geol. Surv. Can., Paper no. 67-60, 1-45.
- WEBBER, P.J., J.W. RICHARDSON & J.T. ANDREWS, 1970. Post glacial uplift and substrate age at Cape Henrietta Maria, southeastern Hudson Bay, Canada. — Can. J. Earth Sci., 7: 317-325.



Climatologie et pergélisol  
*Climatology and permafrost*



## PERIGLACIAL PHENOMENA NEAR CHURCHILL, MANITOBA

H. M. FRENCH

*Departments of Geography and Geology  
University of Ottawa  
Ottawa, Ontario  
K1N 6N5*

and

R. GILBERT

*Department of Geography  
Queen's University  
Kingston, Ontario  
K7L 3N6*

### Résumé

La région de Churchill présente des formes périglaciaires actives et fossilisées. Le niveau actuel d'activité du gel est indiqué par des cercles de sol pierreux au nord de la limite des arbres et par des buttes et des arbres inclinés situés dans la forêt boréale. Des blocs de roche soulevés par le gel et de larges polygones de pierre sont apparus durant les 2 000 ans suivant l'émersion des terres et se sont fossilisés. Des taliks sous les lacs et l'écoulement des eaux souterraines sont révélés par la présence de glace dans une gravière située à 3 km à l'est de la ville. Il vaut donc mieux considérer que cette région est à la limite nord du pergélisol discontinu plutôt qu'à la limite sud du pergélisol continu.

### Abstract

Periglacial features in the Churchill area include both active and fossil forms. The present level of frost activity is indicated by stony earth circles which occur north of treeline, and by hummocks and tilted trees in the boreal forest. Frost heaved bedrock blocks and large sorted stone polygons probably developed in the 2,000 years following marine emergence and are now largely fossil features. The presence of taliks beneath lakes and of ground water flow are indicated by the occurrence of an icing in a gravel pit 3 km east of the townsite. It may be more realistic to regard the area as being at the extreme northern limit of discontinuous permafrost, rather than in the zone of continuous permafrost.

### Introduction

This paper presents a preliminary description of the nature and variety of periglacial phenomena found in the vicinity of Churchill, northern Manitoba (Fig. 1). Although several glacial and Quaternary studies of the Hudson Bay lowlands have been undertaken (Lee, 1968; Skinner, 1973), some dealing specifically with the Churchill area (Barnett, 1966; Craig, 1968), no systematic description of the periglacial landforms is available. This is unfortunate, since the Churchill area is of interest to periglacial geomorphology. In

addition to the tundra-treeline transition with its characteristic vegetation and landform interactions, the area is one of the most southerly locations in North America thought to be within the zone of continuous permafrost (Brown, 1968; 1978c). Moreover, recent field studies indicate that both active and relic frost action phenomena are present. Their study is enhanced by the distinctive geomorphic history of the area, involving ice retreat about 7,500 years B.P., marine inundation of the Tyrrell Sea, and subsequent isostatic uplift. This history enables indirect dating of relic periglacial phenomena on the

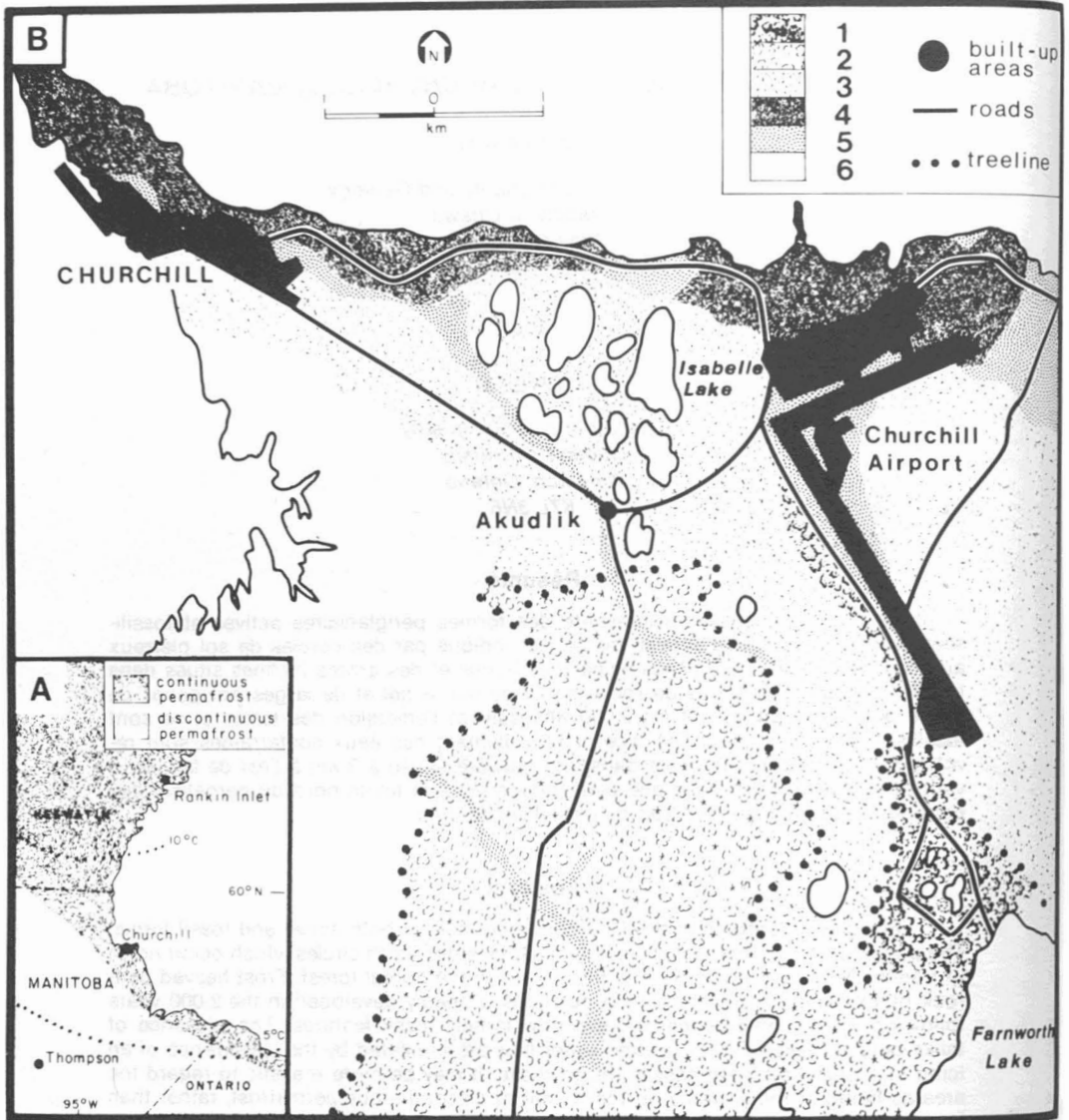


Figure 1. (A) Location of the Churchill area showing treeline, mean air temperatures and limit of continuous permafrost (after Brown, 1978c). (B) Biophysical terrain map of the Churchill area. Key: 1- Boreal forest with peat plateaus and palsas; 2- Boreal forest with open sedge/heath bogs; 3- Sedge-fen tundra; 4- Bedrock areas; 5- Beach sand and gravel, raised beaches; 6- Tidal flats.

basis of their elevation above sea level and known uplift curves, derived from the radiocarbon dating of marine biota (Craig, 1968).

The only published accounts of periglacial phenomena in the study area are the permafrost and geothermal investigations of Beckel (1957) and Brown (1978a). In addition, the Permafrost Excursion Guidebook (Brown, 1978b, p. 39-47) contains useful background information. Elsewhere in the

coastal lowlands of Hudson Bay, information is limited. Further north, for example, James (1972) has described patterned ground phenomena at Rankin Inlet, and in the Baker Lake area, surficial deposits and mudboil activity have been investigated by Egginton (1979). Egginton & Shiels (1978), Shiels (1978), and Shiels & Boydell (1974). To the south of Churchill, in northern Manitoba and north-western Ontario, vegetation, terrain and permafrost studies have been undertaken by



Brown (1973a, 1973b), Dredge (1979), Dredge & Nixon (1979), Thie (1974), and Zoltai (1971, 1973).

This paper contributes to this literature by describing evidence of present and relic frost action processes. In addition, the occurrence of a groundwater icing is documented and related to the permafrost conditions of the area.

### Regional background

The Churchill area is part of the Hudson Bay coastal lowlands, a poorly drained area underlain by Precambrian and Paleozoic rocks. The mean annual air temperature is  $-7.3^{\circ}\text{C}$ , with summer maxima of  $8^{\circ}\text{C}$  and winter minima of below  $-25^{\circ}\text{C}$ . Although Hudson Bay exerts a moderating influence on summer temperatures, ground temperatures at 1.0 m depth may exceed  $25^{\circ}\text{C}$  during summer (Brown, 1978a) on account of the high thermal conductivities of exposed bedrock. The thickness of the snow cover, together with the presence or absence of organic materials, appears to be a critical factor determining the distribution of permafrost. The thickness of the active layer varies from several metres at bedrock sites to less than 1 m in peat. A major factor controlling the intensity of freezing and frost-related processes at Churchill is the variability of snow cover, due principally to wind and drifting. A measure of this can be seen in the records of snow depth from Churchill airport and the townsite 6.5 km away. From 1943 to 1946, the coefficient of variation ( $r^2$ ) between monthly snowfalls recorded at these locations was 0.46, and the relationship is not statistically significant. Local variations in snow accumulation are even larger when vegetation and minor topographic features serve as obstructions to trap snow. As a consequence, a detailed understanding of ground temperatures and thermal conditions is not possible unless based on actual measurement.

Biophysical terrain units, reflecting predominantly surficial material and vegetation, provide background to the description of periglacial phenomena. At least six terrain units can be recognized in the vicinity of Churchill (Fig. 1). The boreal forest consists of stunted (3-4 m high) black spruce (*Picea mariana*) together with a ground cover of Labrador tea, lichens, and mosses in elevated areas, and bogs in poorly drained sites. Based primarily on morphology, the forest areas can be divided into two categories.

To the south of Churchill airport are areas of relatively well-drained forest and palsas (unit 1). These are differentiated from more extensive areas to the south of Akudlik consisting of rather poorly drained spruce forest with peat plateaus and areas of open sedge/heath bog (unit 2). North of treeline, the tundra can be subdivided into two further units. An extensive area of flat, poorly drained sedge-fen underlain by marine silts constitutes unit 3. Areas of higher ground near the coast and at the Churchill townsite (unit 4) are composed of Precambrian bedrock. Finally, relatively well-drained, raised beaches of coarse sediment (unit 5) occur at all elevations throughout the study area, and extensive tidal flats (unit 6) occur along the present coast and in the mouth of the Churchill River.

### Present frost action phenomena

A number of features indicate the importance and intensity of present frost action processes. These include the formation of stony earth circles, the frost churning of soils, and the heaving of bedrock. Each is described briefly below.

#### STONY EARTH CIRCLES

Stony earth circles are a form of patterned ground first described from Scandinavia by Williams (1959). They do not fit easily into the widely used classification of patterned ground proposed by Washburn (1980; p. 158). According to Williams (1959; p. 1), stony earth circles are "... stone covered, roughly circular patterns, varying from a few centimetres to perhaps 2 m, often conspicuous where the vegetation cover is otherwise a low and tight mat." In addition, they are common in poorly sorted materials which possess a significant portion of fines. Finally, they appear typical of subarctic rather than arctic environments. In his description of stony earth circles from the Schefferville region of Québec, Thorn (1976) indicates that they are formed by a combination of ground heave and needle ice formation which expands the circles horizontally. Sorting, or its absence, is controlled by the texture of the material, and the circles are thought to expand or contract in response to a delicate balance between surface instability and the ability of plants to tolerate this instability.

In the Churchill area, stony earth circles are common north of the treeline wherever

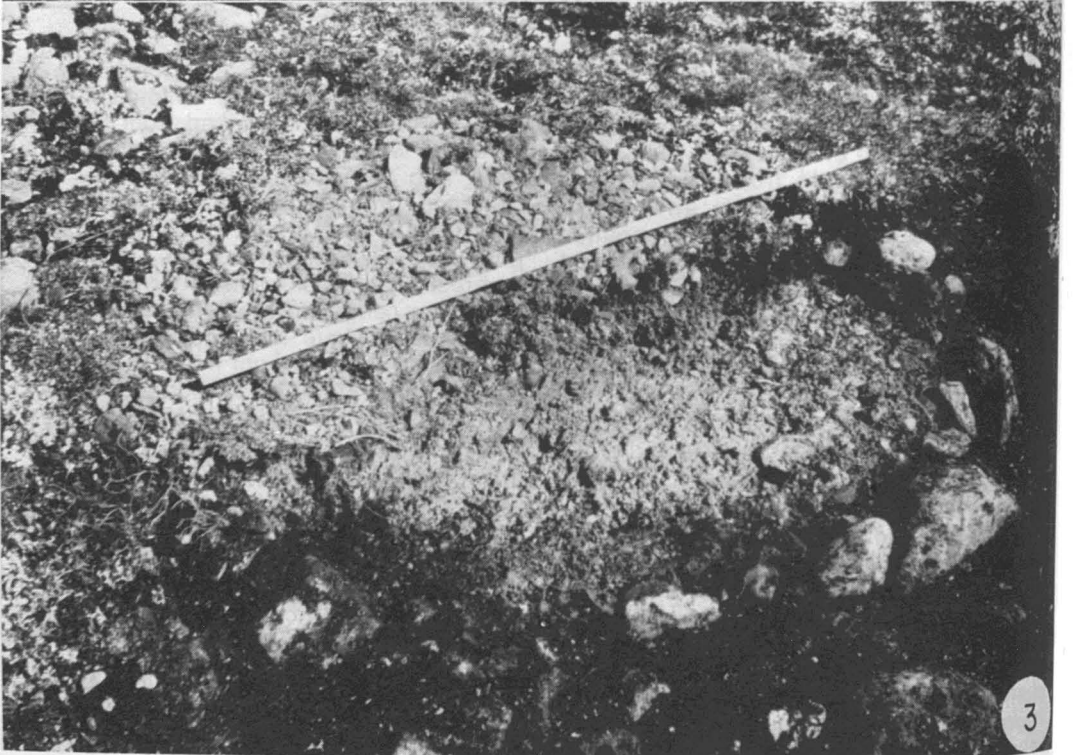


Figure 2. Typical stony earth circle formed in poorly sorted marine sediments immediately east of Churchill airport.

Figure 3. Section excavated through a stony earth circle shows a border of upended and aligned clasts with the central portion composed of finer materials. The scale is 1 m.

poorly sorted silty marine sediments are present. They range in size from 0.5 m to 2 m in diameter and are roughly circular in plan (Fig. 2). Sections excavated through several of the circles indicate the degree of sorting (Fig. 3). The central part consists of poorly sorted silty sand and gravel. Sorting is indicated by a progressive increase in pebble size away from the centre. A distinctive characteristic, usually obscured by vegetation, is the presence of large angular clasts, often upended, around the borders. In all other respects, the stony earth circles at Churchill resemble those described from Schefferville. Equally, they are quite different in morphology and distribution from the mudboils described by Shilts (1978) and Egginton (1979).

A process similar to that proposed by Thorn (1976) is thought to be the cause of the stony earth circles at Churchill (Fig. 4). Since vegetation has not colonized the

circles, it is apparent that they are active. The occurrence of the circles in fine glacio-marine sediments overlying bedrock (unit 4) and in depressions between beach ridges (unit 5) reflects the susceptibility of these materials to frost heave, possibly associated with needle ice formation in the autumn. The 5 to 15 freeze-thaw cycles which occur annually at Churchill appear to be sufficient to form these features.

#### FROST CHURNING OF SOILS

Further evidence of the efficacy of frost heaving is provided by the presence of earth hummocks in the boreal forest zone. Typically, these hummocks are between 2-4 m in diameter and as much as 1 m high. They occur in poorly drained areas underlain by silts. In the Mackenzie Valley, where similar hummocky ground is very extensive (Zoltai & Tarnocai, 1974), frost churning often leads to the tilting of spruce trees, resulting in the

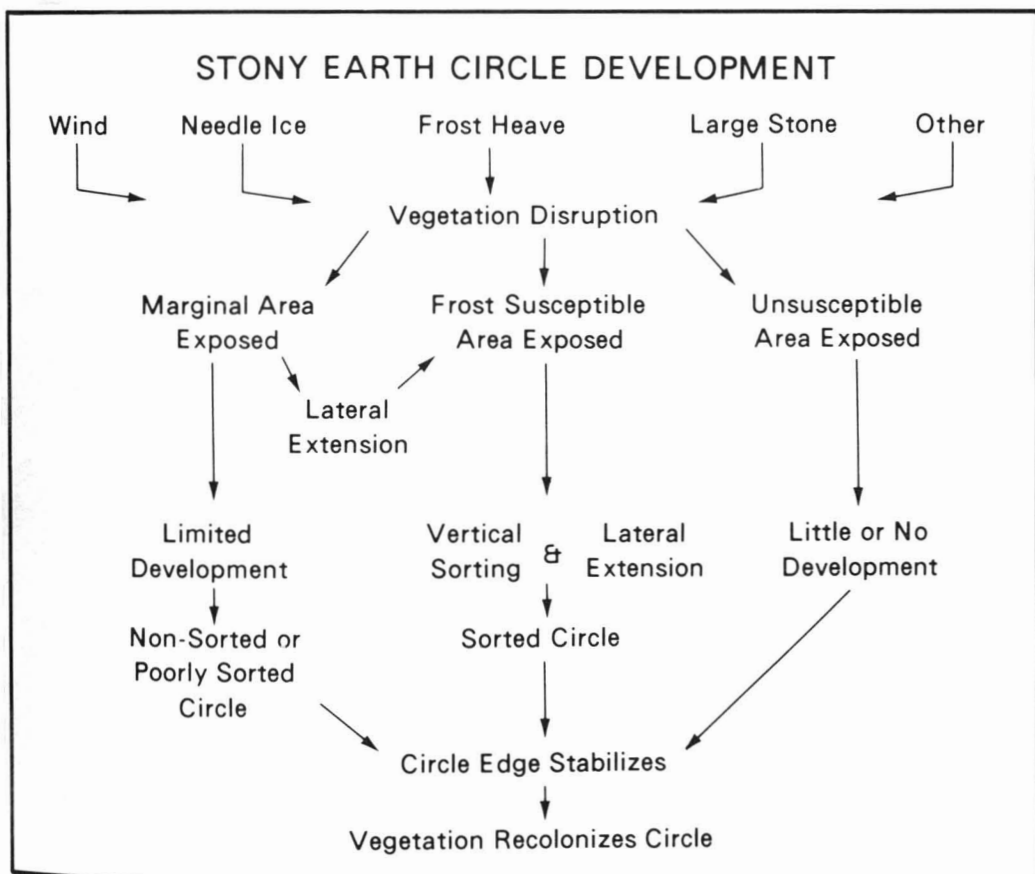


Figure 4. Diagram illustrating the probable mechanism of formation of stony earth circles. From Thorn (1976).

characteristic *drunken forest* appearance. The development of compression wood in trees growing on these hummocks has been used to indicate periods of intensive frost heaving during tree growth (Zoltai, 1975). In the Churchill region, extensive areas of hummocks and numerous tilted black spruce trees occur in the southern portion of the study area (unit 1). A section cut from near the base of one severely tilted tree is shown in Figure 5. On the basis of darker colour rather than a change in thickness of the rings (Alestalo, 1971; Zoltai & Tarnocai, 1974), there are twelve periods of compression wood growth from the pith date of 1727 A.D. to the date of severe tipping of the tree in 1927. Although we cannot correlate the dates of growth of compression wood and thus tipping of the tree with data from the Mackenzie Valley (Zoltai & Tarnocai, 1974; Zoltai *et al.*, 1978), nor with long term

meteorological records from Churchill, it is apparent that locally intense frost heaving was a recurrent process throughout the 252 years of growth of this particular tree.

#### FROST HEAVE OF BEDROCK

Frost heaved bedrock blocks have been described from many areas of arctic Canada (Dyke, A. S., 1978; Dyke, L., 1979; Washburn, 1980). At Churchill the best developed blocks occur in the vicinity of the airport (Fig. 6). In massive rocks these features are generally attributed to the penetration of water into bedrock along joints and bedding planes. In the Churchill area, Proterozoic subgreywackes and quartzites of biophysical unit 4 are especially conducive to bedrock heave. Four factors enhance the effectiveness of this process. First, spalling and exfoliation of bedrock associated with glacial erosion, and

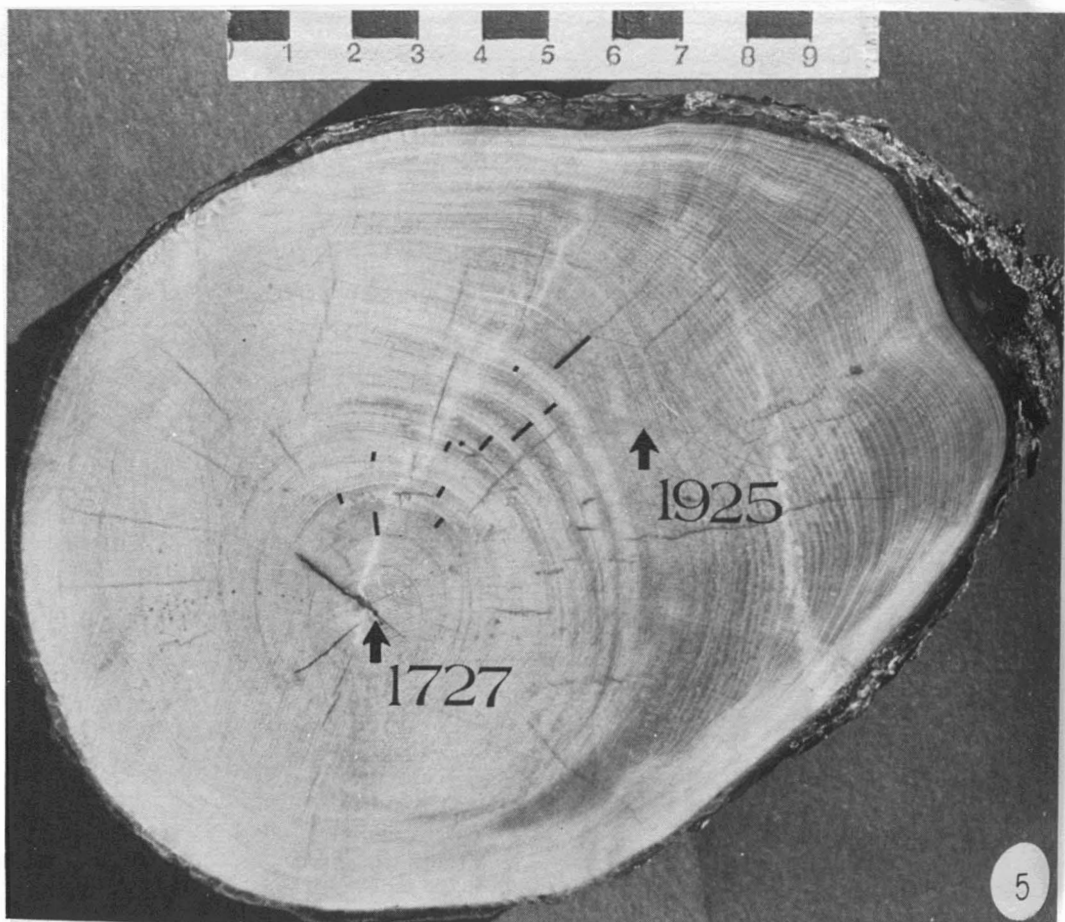


Figure 5. Section through a tilted black spruce (*Picea mariana*), approximately 7 km south of Akudlik. Twelve periods of compression wood growth from 1727 to 1925 A.D. are indicated.



Figure 6. Frost heaved bedrock blocks developed in the Paleozoic greywacke adjacent to the Churchill airport.

Figure 7. Spalling and exfoliation associated with glacial erosion of Precambrian rocks, 3 km east of Churchill.

particularly with failure caused by shear stress around irregularities in the bed of the glacier (Boulton, 1974), is very apparent (Fig. 7). This now allows penetration of water from snowmelt and rain. Second, unlike more northerly regions, the depth to which seasonal thaw penetrates in the bedrock (about 7 m according to Brown, 1978a), creates a thick layer in which freeze-thaw cycles can operate beneath the blocks to lift them. Third, scattered gravel left on the bedrock surface by littoral processes during isostatic uplift (Fig. 6) may enter the cracks enlarged by freezing to jam the blocks in a raised position. Finally, the impervious nature of the bedrock does not allow escape of water which has entered the crack.

### Relic frost action phenomena

While inactive or fossil forms of patterned ground are commonly reported from temperate latitudes which experienced periglacial conditions during the Pleistocene, their occurrence in present periglacial environments has received relatively little attention. This is not surprising, given the historical

fact that most periglacial geomorphologists commenced work in high latitudes in order to observe either active periglacial processes, or landforms unmodified by morpho-climatic change. Jahn (1979) discusses the existence of both active and inactive periglacial phenomena at the same location in subarctic latitudes. At Churchill, not only is the present climate sufficiently rigorous to promote frost action processes, as described earlier, but also the short post-glacial history of the area limits the time period available for the destruction or modification of inactive forms.

Relic frost action phenomena in the Churchill area take the form of large sorted polygons (Washburn, 1980). These occur on certain of the well-drained beach ridges (unit 5), especially to the east of Churchill airport (Fig. 8). Typically, the polygons are poorly developed, yet clearly recognizable in the field. On flat areas, they form crude nets ranging in diameter from between 1.5 and 3.0 m. The borders consist of accumulations of relatively well rounded clasts, ranging up to 0.4 m in diameter, which enclose vegetated areas underlain by slightly finer ma-



Figure 8. Inactive large sorted polygons occur on raised beach material east of Churchill airport. Elevation is 25 m a.s.l. Scale is 80 cm.

terials. Similar relic features have been described from northern Norway (Jahn, 1979; p. 8), while active forms are common in the uplands of central and western Iceland (Schunke, 1975). According to these and earlier studies, there is often a tendency for tabular stones to stand on edge and to be oriented parallel to the border. However, this relationship is not clear in the features of Churchill. On the other hand, the dimensions of the clasts and the size of the polygons agree closely with the 1:5-1:10 ratio between average clast size and the diameter between the centres of stony borders as observed by Goldthwait (1976).

The relic nature of these sorted forms is proved by evidence of their immobility. Lichens cover the tops but not bottoms of the stones and a thick continuous vegetative mat is present over the central area. Since these features are about 25 m above sea level, we estimate that they are less than about 2,000 years old based on Craig's (1968) uplift curve for Churchill. Although patterned ground is known to form in freshwater lakes (Mackay, 1967; Shilts & Dean, 1975), it has never been reported beneath the sea, as it is likely that the vigorous littoral processes associated with tides and sea ice (Gilbert & Aitken, 1981) preclude it. Thus the patterned ground probably did not form until emergence of the land above sea level. At that time the beaches would have been relatively poorly drained and lateral frost thrusting might have been very effective. A second possible mechanism is expansion of the soil in the central area following desiccation and wetting. Fossilisation probably occurred not as the result of any regional climatic change but more likely in response to continued uplift, which enabled better drainage of the beach ridges and consequently a decrease in frost heaving activity.

### Permafrost conditions

The presence of permafrost is commonly regarded as the second important component of true periglacial environments. In the Churchill area, thermal investigations reveal permafrost to be widespread (Brown, 1978a). However, the presence of a groundwater icing, which forms each winter north of Isabelle Lake, approximately 3 km east of the townsite (Fig. 9), illustrates the difficulty of deciding whether Churchill lies within the continuous or discontinuous permafrost zone.

Groundwater icings are most common in hilly areas of discontinuous permafrost, such as parts of the Yukon Territory, the Mackenzie Valley, and interior and southern Alaska. Their occurrence in areas of continuous permafrost usually necessitates either the existence of groundwater flow, such as might be produced by deep springs, or the presence of a suprapermafrost talik. Recently, they have been reported from interior Keewatin by Veillette & Thomas (1979), where they appear associated with seepage through frozen glacio-fluvial deposits.

The Churchill icing forms in an abandoned borrow pit in a large body of littoral sand. The headwall of the borrow pit apparently interrupts groundwater flow from Isabelle Lake to the coast, while the underlying bedrock presumably acts as the lower aquaclude. In May 1979, the icing occupied an area of about 2,000 m<sup>2</sup> and several icing mounds, similar to those described by van Everdingen (1978) from the Mackenzie Valley near Fort Norman, had formed (Fig. 10), indicating substantial hydrostatic pressure. According to local residents, the borrow pit was worked in the mid 1960's and icings have formed each winter since then, often forcing closure of the coastal road at that point. The icing clearly indicates regular groundwater flow between Isabelle Lake and the coast. Since Isabelle Lake is freshwater, there is little possibility that the talik is chemically induced. It is highly probable, therefore, that true geothermal taliks (where temperatures exceed 0°C) exist elsewhere in the area, especially beneath lakes and in coarse-grained surficial deposits. Where topographic gradients permit, groundwater flow may link taliks. Given that one of the four temperature boreholes monitored by Brown (1978a) did not record permafrost, the presence of groundwater icings is a further indicator that permafrost may not be continuous in the Churchill area.

### Conclusions

The periglacial features of the Churchill area include both active and inactive forms of patterned ground, and the frost heaving of soils and bedrock. Until detailed process studies are undertaken, the significance of these phenomena can only be assessed in very general terms. The qualitative observations presented in this paper indicate that those features representative of very rigorous



Figure 9. Oblique aerial view of groundwater icing developed in borrow pit north of Isabelle Lake, 3 km east of Churchill. Photo, May 30, 1979.

Figure 10. Two icing mounds, 3 - 4 m high, had formed on the icing during the 1978-79 winter and indicate buildup of hydrostatic pressure. Photo, May 28, 1979.



periglacial environments, such as large sorted polygons and frost heaved bedrock blocks, are probably partially fossilized and formed during about 2,000 years following marine emergence. The present level of frost activity is indicated by the occurrence of stony earth circles north of treeline and hummocks with tilted trees south of treeline. With respect to permafrost conditions, the existence of taliks and groundwater flow complicates the permafrost distribution pattern. It may be more appropriate to regard the Churchill area as being at the northern limit of discontinuous permafrost rather than, as at present, at the southern limit of continuous permafrost.

### Acknowledgments

Fieldwork was undertaken in May and June 1979 during a program of study in Arctic geomorphology conducted at the Churchill Northern Studies Centre. The latter provided accommodation and field transportation. Mr. Bill Erickson, Manager of the Centre, was particularly helpful. We also wish to acknowledge the students who participated in the course, especially Alec Aitken and Dianne Erickson, for their assistance. Comment on the manuscript by S.C. Zoltai is appreciated by adoption.

### References

- ALESTALO, J., 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. — *Fennia*, no. 105, 140 p.
- BARNETT, D.M., 1966. Re-examination and re-interpretation of tide gauge data for Churchill, Manitoba. — *Can. J. Earth Sci.*, 3: 77-88.
- BECKEL, D.K.B., 1957. Studies on seasonal changes in the temperature gradient of the active layer of soil at Fort Churchill, Manitoba. — *Arctic*, 10: 151-183.
- BOULTON, G.S., 1974. Processes and patterns of glacial erosion. — Pages 41-87 in D.R. Coates (ed.). *Glacial geomorphology*. Publications in Geomorphology, State University of New York, Binghamton, New York, 398 p.
- BROWN, R.J.E., 1968. Permafrost investigations in northern Ontario and northeastern Manitoba. — National Research Council of Canada, Division of Building Research, Technical Paper no. 291, 40 p.
- BROWN, R.J.E., 1973a. Permafrost. Distribution and relation to environmental factors in the Hudson Bay lowland. — Pages 35-68 in B.D. Kay (ed.). *Proceedings of the Symposium on the Physical Environment of the Hudson Bay Lowland*, University of Guelph, 206 p.
- BROWN, R.J.E., 1973b. Influence of climatic and terrain factors on ground temperatures at three locations in the permafrost region of Canada. — Pages 27-34 in *Permafrost: North American Contribution*. Second International Conference on Permafrost, National Academy of Sciences, Publication no. 2115, Washington, D.C., 783 p.
- BROWN, R.J.E., 1978a. Influence of climate and terrain on ground temperatures in the continuous permafrost zone of northern Manitoba and Keewatin District. — Pages 15-21 in *Proceedings of the Third International Conference on Permafrost*. National Research Council of Canada, 947 p.
- BROWN, R.J.E., 1978b. Field trip no. 4. Northern Manitoba, District of Keewatin. — *Third International Conference on Permafrost*. National Research Council of Canada, D.E. Kerfoot (Guidebook ed.), 76 p.
- BROWN, R.J.E., 1978c. Permafrost, map 32. Hydrological atlas of Canada. — Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- CRAIG, B.G., 1968. Late-glacial and postglacial history of the Hudson Bay region. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 68-53, p. 63-77.
- DREDGE, L.A., 1979. Thaw depths and permafrost in polygonal peat terrain, Hudson Bay lowland, Manitoba. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 79-1C, p. 27-30.
- DREDGE, L.A. & F.M. NIXON, 1979. Thermal sensitivity and the development of tundra ponds and thermokarst lakes in the Manitoba portion of the Hudson Bay lowland. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 79-1C, p. 23-26.
- DYKE, A.S., 1978. Qualitative rates of frost heaving in a gneissic bedrock on southeastern Baffin Island, District of Franklin. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 78-1A, p. 501-502.
- DYKE, L., 1979. Bedrock heave in the central Canadian Arctic. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 79-1A, p. 241-246.
- EGGINTON, P.A., 1979. Mudboil activity, central District of Keewatin. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 79-1B, p. 349-356.
- EGGINTON, P.A. & W.W. SHILTS, 1978. Rates of movement associated with mudboils, central District of Keewatin. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 78-1B, p. 203-206.
- GILBERT, R. & A.E. AITKEN, 1981. The role of sea ice in biophysical processes on intertidal flats of Pangnirtung (Baffin Island), N.W.T. — Pages 89-103 in D.H. Willis (ed.). *Proceedings of the Workshop on the Action of Ice on Shoreline Evolution*. Nat. Res. Council of Canada, Rimouski, May 1981.
- GOLDTHWAIT, R.P., 1976. Frost sorted patterned ground: a review. — *Quat. Res.*, 6: 27-35.
- JAHN, A., 1979. The Varanger Peninsula (Norway) and the problem of the fossilisation of periglacial phenomena in Europe. — *Geogr. Annl.*, 61A: 1-10.

- JAMES, P.A., 1972. Periglacial geomorphology of the Rankin Inlet area, Keewatin, N.W.T., Canada. — *Biul. peryglac.*, 21: 126-151.
- LEE, H.A., 1968. Quaternary geology. — Pages 503-543 in C.S. Beals (ed.). *Science, history, and Hudson Bay*. Department of Energy, Mines and resources, Ottawa, Volume II, 1057 p.
- MACKAY, J.R. 1967. Underwater patterned ground in artificially drained lakes, Gary Island, N.W.T. — *Geogr. Bull.*, 9: 33-44.
- SCHUNKE, E., 1975. Die Periglazialerscheinungen Islands in Abhängigkeit von Klima und Substrat. — *Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. Folge 3*, 30, 273 p.
- SHILTS, W.W., 1978. Nature and genesis of mud-boils, central Keewatin, Canada. — *Can. J. Earth Sci.*, 15: 1053-1068.
- SHILTS, W.W. & A.H. BOYDELL, 1974. Terrain mapping in the Churchill Chesterfield Inlet corridor, District of Keewatin. — *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 74-1A, p. 253-256.
- SHILTS, W.W. & W.E. DEAN, 1975. Permafrost features under arctic lakes, District of Keewatin, Northwest Territories. — *Can. J. Earth Sci.*, 12: 649-662.
- SKINNER, R.G., 1973. Pleistocene stratigraphy of the Hudson Bay lowland. — Pages 1-16 in B.D. Kay (ed.). *Proceedings of the Symposium on the Physical Environment of the Hudson Bay lowland*, University of Guelph, 206 p.
- THIE, J., 1974. Distribution and thawing of permafrost in the southern part of the discontinuous permafrost zone in Manitoba. — *Arctic*, 27: 189-200.
- THORN, C.E., 1976. A model of stony earth circle development, Schefferville, Québec. — *Proc. Am. Ass. Geogr.*, 8: 19-23.
- VAN EVERDINGEN, R.O., 1978. Frost mounds at Bear Rock, near Fort Norman, Northwest Territories, 1975-1976. — *Can. J. Earth Sci.*, 15: 263-276.
- VEILLETTE, J.J. & R.D. THOMAS, 1979. Icings and seepage in frozen glaciofluvial deposits, District of Keewatin, N.W.T. — *Can. geotech. J.*, 16: 789-798.
- WASHBURN, A.L., 1980. *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments.* — Wiley and Sons, New York, 406 p.
- WILLIAMS, P.J., 1959. The development and significance of stony earth circles. — *N. Korse Vidensk. Selsk. Forth. I. Mat.-naturv. Kl.*, 1959, no. 3, 14 p.
- ZOLTAI, S.C., 1971. Southern limit of permafrost features in peat landforms, Manitoba and Saskatchewan. — *Geol. Ass. Can., Special Paper*, 9: 305-310.
- ZOLTAI, S.C., 1973. Vegetation, surficial deposits and permafrost relationships in the Hudson Bay lowlands. — Pages 17-34 in B.D. Kay (ed.). *Proceedings of the Symposium on the Physical Environment of the Hudson Bay lowlands*, University of Guelph, 206 p.
- ZOLTAI, S.C., 1975. Tree ring record of soil movements on permafrost. — *Arct. Alp. Res.*, 7: 331-340.
- ZOLTAI, S.C. & C. TARNOCAI, 1974. Soils and vegetation of hummocky terrain. — *Environmental-Social Committee, Northern Pipelines Task Force on Northern Oil Development*, Department of the Environment, Report no. 74-5, 86 p.
- ZOLTAI, S.C., C. TARNOCAI & W.W. PETTAPIECE, 1978. Age of cryoturbated organic materials in earth hummocks from the Canadian Arctic. — Pages 325-331 in *Proceedings of the Third International Conference on Permafrost*, National Research Council of Canada, 947 p.

## DISTRIBUTION DU PERGÉLISOL DANS LE BASSIN DE LA GRANDE RIVIÈRE DE LA BALEINE, QUÉBEC

J. POITEVIN et J. T. GRAY

*Département de géographie, Université de Montréal  
C.P. 6128, succ. «A», Montréal, Québec H3C 3J7*

### Résumé

Quelques forages profonds effectués par l'Hydro-Québec dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine ont permis de découvrir un pergélisol actuel. Près de la côte est de la baie d'Hudson, les sommets dénudés, culminant à 200 m d'altitude, sont très exposés aux fluctuations extrêmes des températures saisonnières. L'épaisseur maximale du pergélisol y est de 180 m. À quelque 125 km et 175 km de la côte, malgré une altitude plus élevée, il n'y a pas de pergélisol. Ceci est attribué principalement à une plus grande épaisseur du tapis nival en hiver lié à la présence de sédiments meubles et d'un couvert forestier. De plus, les conditions moins brumeuses durant les mois d'été pour les zones éloignées de la côte, contribuent elles aussi à maintenir un régime thermique positif dans le bassin.

### Abstract

Installation of thermocouples in six deep holes drilled by Hydro-Québec at potential dam sites in the Grande rivière de la Baleine basin enabled the authors to demonstrate the presence of permafrost bodies up to 180 m thick on exposed summits close to the Hudson Bay coast, and the absence of such bodies at sites 125 km and 175 km from the coast. Coastal highlands have a more negative thermal regime principally because their wave-washed, treeless nature along with strong westerly winds, prevents the build-up of significant snow accumulations. A secondary factor is the high frequency of summer fog in the coastal belt leading to much lower radiation input than in the interior of the basin.

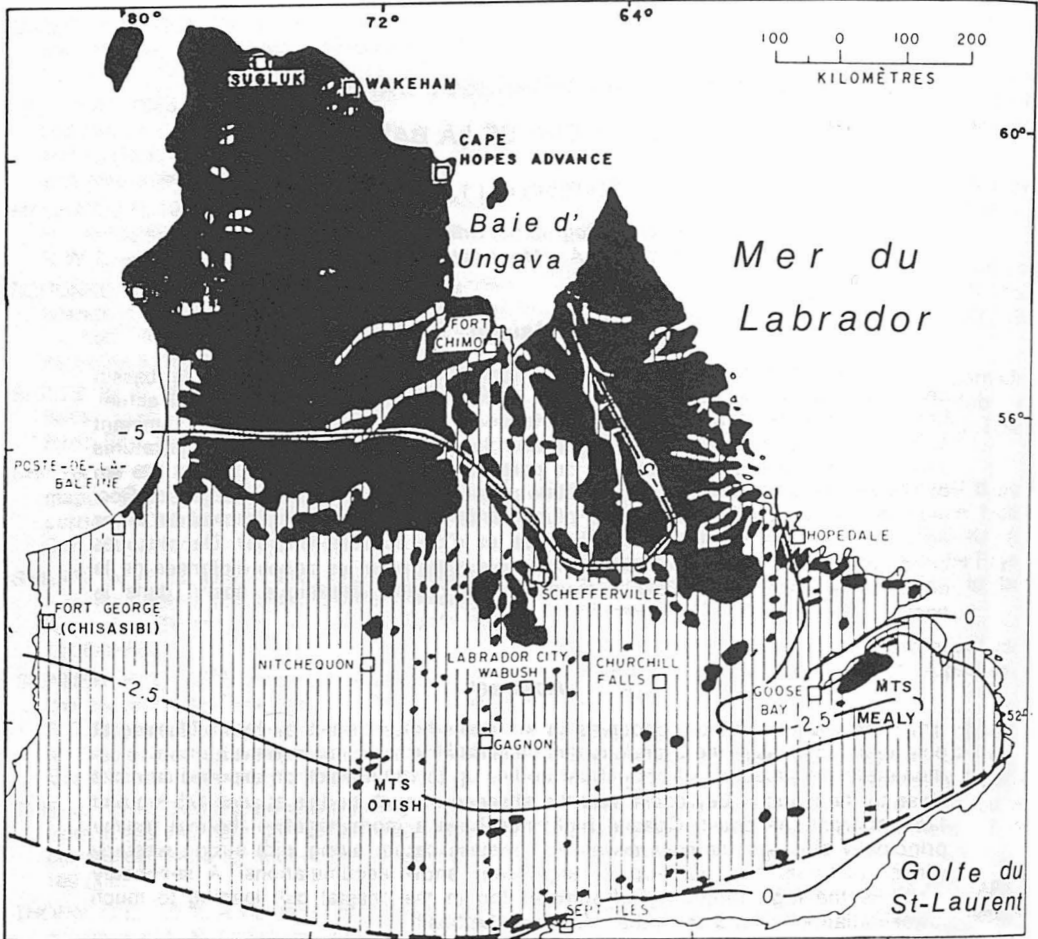
### Introduction

Les données sur les caractéristiques et l'étendue du pergélisol, ainsi que les modalités de gel et de dégel dans la région au sud-ouest de la péninsule du Québec-Labrador sont encore très fragmentaires, même si le gel saisonnier et pérenne exerce une grande influence sur les activités de construction reliées aux aménagements hydro-électriques de la baie James et aux avant-projets prévus plus au nord. Dans son recensement des formes périglaciaires de la région, Dionne (1978) signale la rareté des études dans ce domaine.

Parmi les travaux pertinents, signalons ceux de Lagarec (1973, 1978a, 1978b), Payette *et al.* (1976), Séguin & Crépault (1979) sur les îlots de pergélisol associés aux palses minérales et organiques le long de la côte est de la baie d'Hudson entre Poste-de-la-Baleine et le golfe de Richmond, et égale-

ment ceux de Filion & Payette (1976, 1978) sur la dynamique de l'enneigement, les caractéristiques physiques du couvert de neige et leur répercussion sur le régime thermique de la région. Au même titre, mentionnons la série de sondage de Brown (1975, 1979) dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine, qui ont indiqué clairement le caractère très discontinu du pergélisol (fig. 1). Plus au sud, dans le bassin de la Grande rivière, Paré *et al.* (1978) ont mesuré la pénétration du gel saisonnier dans les sédiments meubles utilisés pour la construction des digues du complexe hydro-électrique.

Aucune de ces études n'a porté sur le régime thermique observé en profondeur. Notre étude fait suite aux travaux préliminaires de Botteron *et al.* (1979) portant sur les régimes thermiques dans les trous profonds forés par l'Hydro-Québec à quatre emplacements du bassin de la Grande rivière







-  Pergélisol contemporain en équilibre avec le climat actuel.
-  Îlots de pergélisol et pergélisol relique.
-  Limite méridionale du pergélisol
-  Moyenne annuelle des températures de l'air (°C)

Figure 1. Répartition du pergélisol au Nouveau-Québec et au Labrador (d'après Brown, 1967, 1978; Ives, 1962).

de la Baleine (fig. 2). Les premières données recueillies en 1979 font état de la présence de glace en profondeur dans certains secteurs de ce bassin. Quant à la nature du pergélisol rencontré, le peu de données géophysiques et géotechniques suggéraient à l'épo-

que un pergélisol relique, suite aux discontinuités retrouvées dans la glace à l'intérieur des trous de forage. Nous présentons ici des profils thermiques pour le secteur du bassin de la Grande rivière de la Baleine, dans le but d'examiner cette hypothèse.

### Climat de la région

Le petit nombre de stations météorologiques dans le Nouveau-Québec rend très difficile la description des éléments climatiques d'une région aussi grande que celle du bassin de la Grande rivière de la Baleine. Nous avons choisi deux stations afin de donner un aperçu des conditions climatiques, soit Poste-de-la-Baleine sur la côte est de la baie d'Hudson et Schefferville à 500 m d'altitude sur le plateau du Québec-Labrador, à 700 km à l'est. Les éléments disponibles les plus intéressants touchant le régime thermique du sol sont les températures moyennes annuelles de l'air, les chutes de neige et le brouillard en été (tableau I et fig. 3).

Malgré une altitude supérieure de 500 m pour la station de Schefferville, les températures moyennes annuelles de ces deux stations de même latitude sont similaires. L'effet de l'altitude est, semble-t-il annulé par la continentalité de Schefferville, qui pour les mois de juin, juillet et août offre des journées plus chaudes et moins brumeuses que Poste-de-la-Baleine, cette dernière station étant située à proximité des eaux froides de la baie d'Hudson.

La différence entre les moyennes annuelles des accumulations de neige à Schefferville et à Poste-de-la-Baleine apparaît au tableau I, mais la carte de la répartition du couvert nival à travers la région (Findlay & Gagnon, 1976), dressée à partir des données d'une quarantaine de petites stations nivéométriques en opération entre 1965 et 1974 donne une meilleure idée des variations du couvert nival (fig. 4). De façon générale, Findlay & Gagnon (1976) distinguent une zone d'accumulation dépassant 90 cm d'épaisseur là où le relief est plus accentué près de la côte. À cette zone succède à l'est une zone inférieure à 300 m d'altitude, où l'épaisseur moyenne de la neige varie autour de 75 cm. Progressant vers l'est jusqu'au plateau à l'ouest de Schefferville, les épaisseurs moyennes sont de 90 à 135 cm. Ces contrastes influencent certainement le régime thermique du sol, mais à l'échelle locale l'épaisseur de neige varie beaucoup à cause des conditions du terrain, tels le degré d'exposition des surfaces aux vents prédominants ainsi que la nature et la densité du couvert végétal.

Les températures moyennes annuelles des zones côtières élevées sont probablement plus basses (de 1° à 2°C) que celles de la station météorologique de Poste-de-la-

Baleine. Ceci est également vrai pour les zones de plateau dans la région de Schefferville (Thom & Granberg, 1970).

### Caractéristiques du terrain

#### SITES CÔTIERS

Les données thermiques recueillies au premier site (55°25' N., 77°20' O.) proviennent de deux forages effectués près du camp d'exploration GB-1 de l'Hydro-Québec, à l'emplacement projeté d'une centrale, près de la baie d'Hudson. Ces forages ont été faits sur une colline à 200 m d'altitude et à 4 km du littoral.

Les sommets qui dominent la région ont été polis par l'inlandsis laurentidien et délavés par les eaux de la mer de Tyrrell. Ils ne sont pas recouverts par des sédiments meubles ni par un couvert végétal. Leur surface très exposée empêche des accumulations de plus de quelques centimètres de neige. Les trous de forage sont situés sur la partie sommitale de la colline.

Un deuxième site (55°30' N., 77°15' O.), situé à environ 10 km au nord de GB-1 sur la rivière Domanchin, présente les mêmes caractéristiques géomorphologiques que GB-1.

#### SITES INTÉRIEURS

Le site GB-2 (55°10' N., 74°55' O.) se trouve sur une colline d'une altitude de 320 m à 125 km de la côte, à l'emplacement projeté d'une deuxième centrale hydro-électrique dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine. La colline est couverte d'un mince tapis de débris morainiques et est flanquée au sud et au nord de petites dépressions tourbeuses. Son couvert végétal est constitué d'une forêt de conifères clairsemée et forme une mosaïque de formations forestières vallicoles sur les interfluves. Les principales caractéristiques biophysiques de la région furent décrites par Filion & Payette (1976). Le couvert de neige est plus épais qu'aux sites côtiers.

Le site GB-3 (54°53' N., 74°20' O.), où sera implantée une troisième centrale hydro-électrique est une colline à 400 m d'altitude située à 180 km de la côte. Les pentes y sont modérément inclinées, mais la surface est suffisamment recouverte de sédiments meubles pour pouvoir supporter une forêt clairsemée; tout comme pour le site GB-2.



TABLEAU I

Comparaison de certaines données climatiques de  
Poste-de-la-Baleine et de Schefferville\*

Paramètres	Poste-de-la-Baleine	Schefferville
Température moyenne (°C)		
— annuelle	-4,5	-4,9
— janvier	-21,8	-22,0
— juillet	10,2	12,4
Chutes de neige (moyennes annuelles en centimètres)	257	349
Brouillard		
— nombre de jours par an avec rapport de visibilité < 1 km	44	15
— pourcentage des observations horaires en juillet-août avec visibilité < 10 km	20-25%	5%

\* Wilson (1971).

un couvert nival relativement épais caractérise le site en hiver.

### Méthodes

Les données thermiques ont été obtenues grâce à l'installation de câbles à thermocouples de type T à l'intérieur de six trous profonds, dans le cadre d'un programme de forage à l'intérieur du bassin de la Grande rivière de la Baleine. Les trous de forage ont été effectués entre 1975 et 1978 et l'installation des câbles thermiques a été réalisée au cours de l'été 1978 par le Service géologique et géotechnique de l'Hydro-Québec. Les températures du socle rocheux, qui est composé de granite et de gneiss granitique d'âge pré-cambrien furent relevées à la fin de l'été 1980 et au début de l'année 1981. Les valeurs de la conductivité thermique

pour le granite et le gneiss de la région varient entre 2,21 à 3,41 Wm<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> (Jessop, 1968). Il y eut un intervalle de deux années entre l'installation des câbles thermiques et les premières lectures; les effets de perturbation causés par le forage sont ainsi minimisés. Les câbles thermiques installés possèdent de 8 à 12 thermocouples espacés à des intervalles variables selon la longueur des câbles. L'instrument de lecture utilisé donne une précision estimée à 0,1°C. Tous les trous de forage ont une inclinaison de 55° par rapport à l'horizontale. Les différents profils thermiques présentés ont été convertis en distance verticale à partir de la surface afin de tenir compte de cette inclinaison.

### Résultats et discussion

#### PROFILS THERMIQUES

La figure 5 donne les profils thermiques en profondeur à l'intérieur de six trous de forage pour le bassin de la Grande rivière de la Baleine. Deux profils illustrent les conditions estivale (août 1980) et hivernale (mars 1981), pour chacun des trous.

#### Région côtière

Dans les deux trous profonds TFD-1-75 et TFD-9-76 du site GB-1, les profils thermiques révèlent la présence d'un pergélisol jusqu'à une profondeur de 180 m. Une température de -3°C est notée à 20 m de la surface. Le trou TFD-1-75 montre des températures légèrement plus basses (environ 0,5 à 1,0°C) que celles du trou TFD-9-76. Cette différence

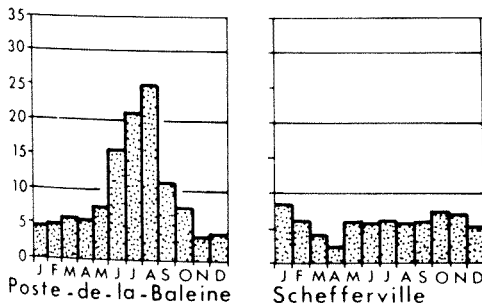


Figure 3. Fréquence des cas de brouillard à Poste-de-la-Baleine et à Schefferville entre 1957 et 1966 en pourcentage de toutes les observations horaires par mois (visibilité de moins de 10 km), d'après Wilson (1971).

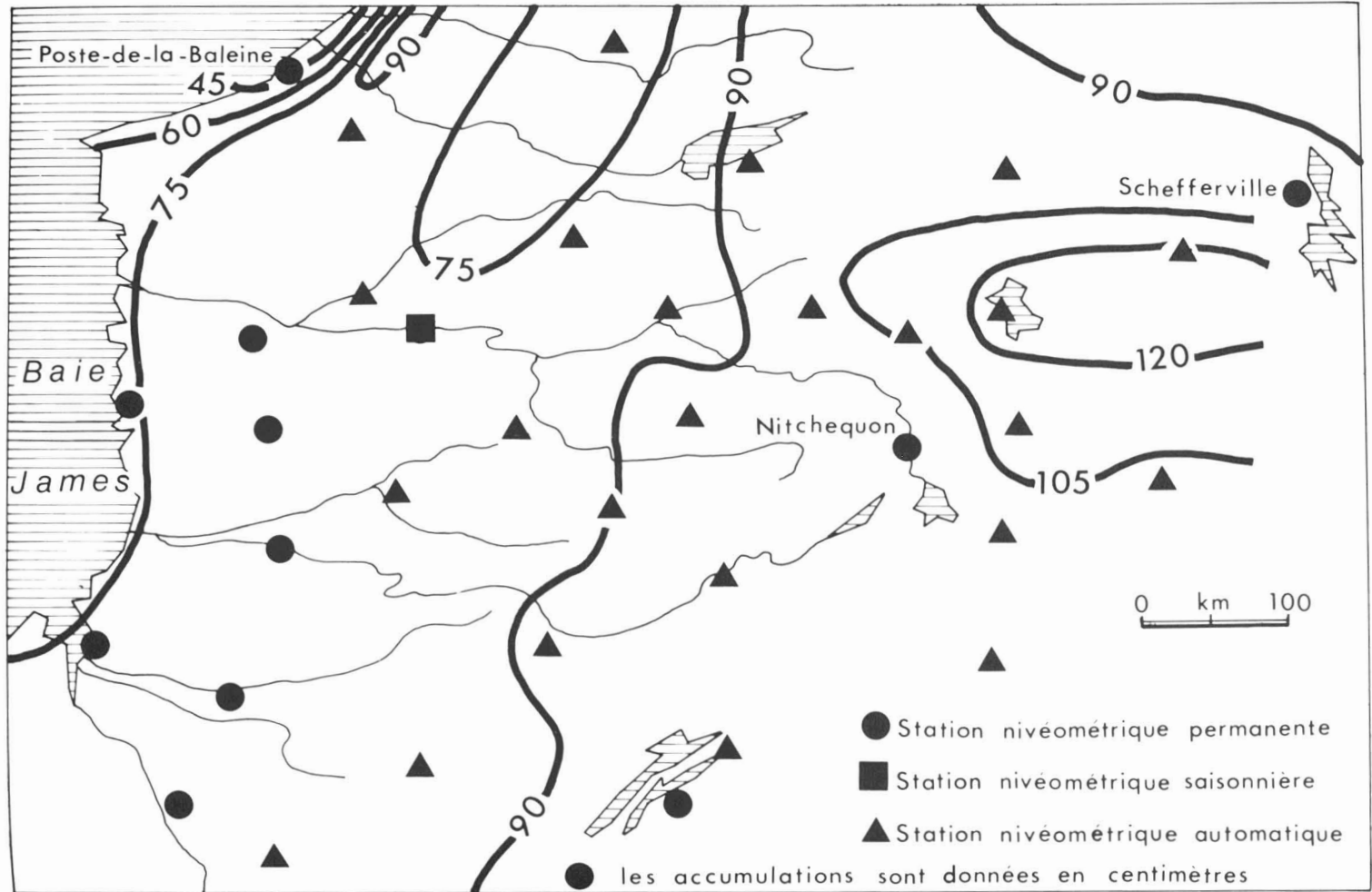


Figure 4. Répartition du couvert nival à la fin du mois de mars dans la région sud-ouest de la péninsule du Québec-Labrador entre 1965 et 1974 (d'après la figure 10 de Findlay & Gagnon, 1976).



de température en profondeur est due à des orientations différentes : le trou TFD-1-75 est situé à proximité du flanc ouest de la colline (zone exposée aux vents dominants), contrairement au trou TFD-9-76, situé à 150 m plus à l'est où l'on observe d'importantes accumulations de neige sur le flanc est de cette colline. Des accumulations de neige pouvant atteindre plusieurs mètres agissent comme isolant thermique vis-à-vis les basses températures de l'air en hiver. La température plus élevée, sous le couvert épais de neige du flanc est, engendre en profondeur des flux de chaleur latéraux qui augmentent les températures moyennes annuelles du trou TFD-9-76, même si celui-ci se trouve dans la partie sommitale de la colline.

Les variations saisonnières des températures de surface s'atténuent graduellement en profondeur avec des gradients thermiques moyens absolus variant de 0,15 à 0,33°C/m pour les premiers 30 m et de 0,008 à 0,002°C/m en profondeur. À cause de l'espacement important entre les thermocouples situés près de la surface (surtout pour les trous TFD-1-75 et TFD-9-76), nous pouvons difficilement évaluer avec exactitude la profondeur maximale où les fluctuations saisonnières et journalières cessent d'agir. De façon générale, il est admis que les fluctuations thermiques cessent d'être perceptibles à des profondeurs variant entre 15 et 30 m (Andersland & Anderson, 1978; Jumikis, 1977). En août 1980, la couche active atteint une épaisseur variant de 3 à 6 m. Étant donné que le cycle du dégel se poursuit, on estime une pénétration additionnelle de 0,5 à 1,0 m du front de dégel. Cette observation liée à l'absence de taliks (zones non gelées à l'intérieur du pergélisol) nous amène à conclure que le pergélisol n'est pas en état de dégradation. Cette constatation est appuyée par la présence de basses températures moyennes annuelles de l'air (-5,0 à -6,0°C) aux sites GB-1 et DOMANCHIN.

La figure 5C montre les profils thermiques du site DOMANCHIN situé à 15 km au nord de GB-1. L'unique trou de forage disponible avec un câble thermique (DO-7-77) révèle la présence de pergélisol jusqu'à une profondeur de 140 m. Les températures en profondeur voisinent l'isotherme de 0°C sur plus de 95 m. Cette dernière observation nous ferait croire que l'épaisseur du pergélisol est moindre qu'au site GB-1. Comme nous l'avons déjà mentionné, les deux collines ont des caractéristiques géologiques et géomorphologiques identiques. Cepen-

dant, la position géographique du trou de forage sur la colline est différente. Le trou DO-7-77 est situé à l'intérieur d'une légère dépression à quelque 20 m à l'est de la zone sommitale. Nous croyons que le trou incliné à 55°, ne traverse qu'une partie marginale du noyau gelé et ne représente pas les vraies conditions thermiques de l'ensemble de la zone du pergélisol (fig. 6). Les températures plus élevées rencontrées au trou DO-7-77 s'expliquent en grande partie par les conditions locales favorables aux accumulations de neige sur le flanc est de la colline.

Les profils thermiques présentés ici sont tous comparables à ceux de Nicholson (1978, 1979), près des mines de fer, à 50 km au nord de Schefferville. Les températures moyennes annuelles de l'air à Schefferville et à Poste-de-la-Baleine sont similaires et l'écart de 200 m d'altitude entre le site GB-1 et Poste-de-la-Baleine est sensiblement le même que celui qui existe entre les mines de fer et Schefferville.

L'épaisseur de la couche active se situe dans les limites connues de conditions climatiques semblables. Ces résultats sont comparables avec ceux qui ont été obtenus au lac Caniapiscou à l'intérieur de la péninsule (Dionne, 1978), à Thompson au Manitoba (Brown, 1973) et au sud de la baie aux Feuilles (Gray *et al.*, 1979).

#### *Région à l'intérieur du bassin*

Les sites GB-2 et GB-3 sont caractérisés par une absence de pergélisol. Ces sites présentent des trous de forage dans les zones sommitales de collines, d'élévations respectives de 320 et 400 m. Toutes les températures en profondeur (fig. 5D, E, F) sont situées entre les isothermes de 1°C et 2°C (sauf la partie supérieure qui subit les fluctuations journalières et saisonnières). L'absence de pergélisol est attribuable aux fortes accumulations de neige, ainsi qu'aux conifères et arbustes qui permettent une rétention de la neige. De plus, contrairement à la région côtière, la fréquence de brouillard est plus faible et les conditions atmosphériques en été sont plus favorables aux échanges de chaleur vers le sol.

#### COUVERT DE NEIGE

L'épaisseur du couvert de neige et les températures moyennes de l'air sont les paramètres climatiques les plus significatifs en ce qui a trait au régime thermique du sol. Les travaux sur le pergélisol et le couvert de

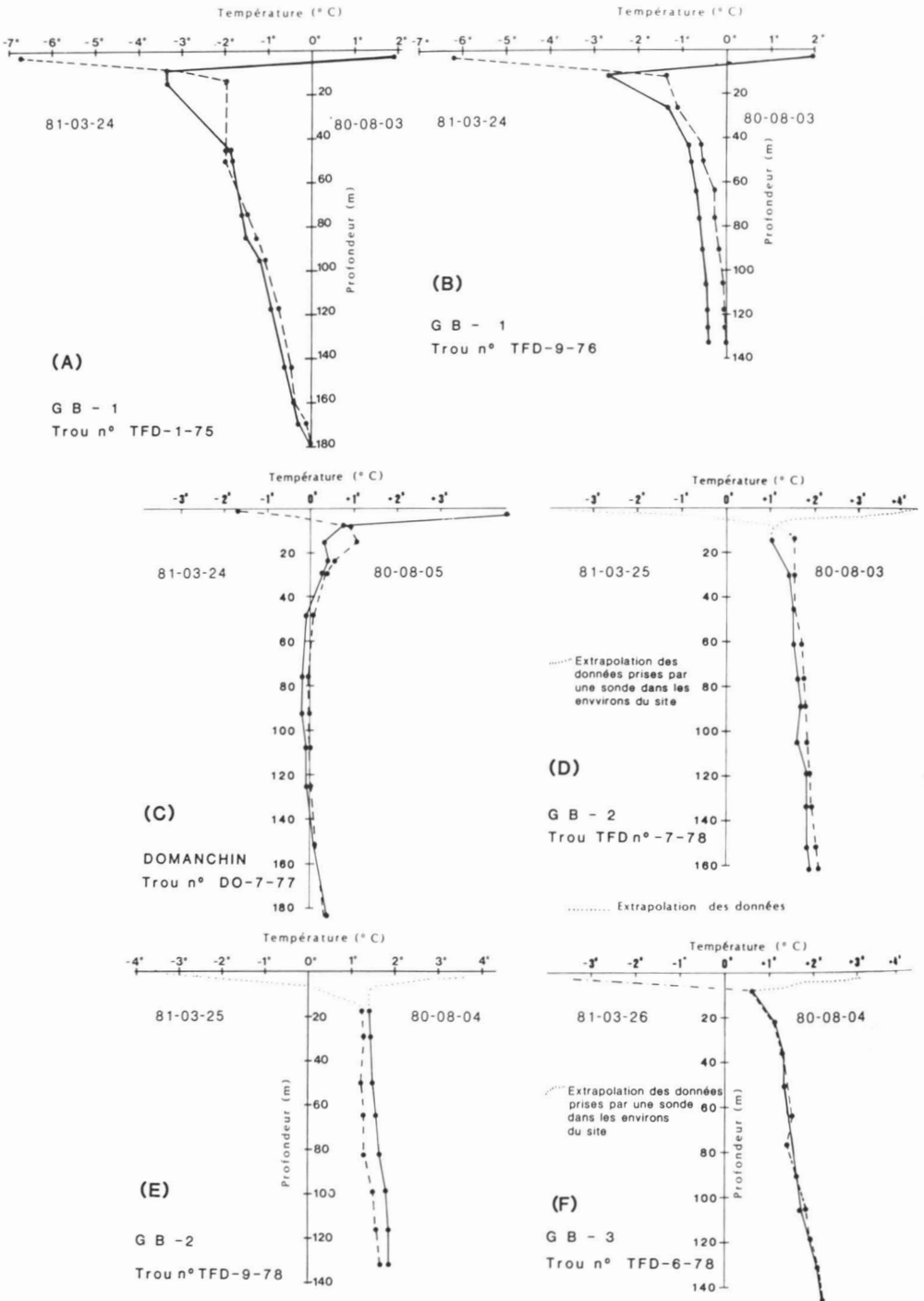


Figure 5. Profils thermiques pour les sites GB-1 (A) et (B); DOMANCHIN (C); GB-2 (D) et (E); GB-3 (F).

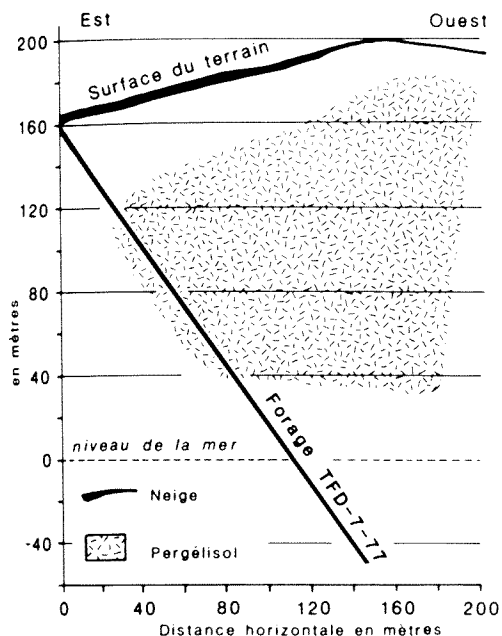


Figure 6. Coupe schématique de la masse de pergélisol au site DOMANCHIN.

neige à Schefferville au Nouveau-Québec (Annersten, 1963; Nicholson & Granberg, 1973) ont montré une relation linéaire entre l'épaisseur du couvert de neige et la distribution du pergélisol dans la région. La qualité et la quantité de neige déterminent l'efficacité de son pouvoir isolant et elles influent directement sur la formation, le maintien ou la dégradation du pergélisol. Le pergélisol existe généralement lorsque le couvert nival est inférieur à 70 cm dans la région de Schefferville.

La figure 7 donne un aperçu des conditions d'enneigement observées à la fin de l'hiver 1981. Les valeurs présentées proviennent d'une série de transects de même orientation que l'inclinaison ( $55^\circ$ ) des trous de forage. Nous avons également tenu compte, dans la mesure du possible, de l'influence latérale de certaines surfaces avoisnantes du trou. Tel que prévu, les sites côtiers (GB-1 et DOMANCHIN) montrent de façon générale des accumulations de neige moins importantes que les sites situés plus à l'intérieur du bassin. Les irrégularités observées sont directement reliées à l'exposition et à la topographie en surface. Ceci ressort particulièrement bien pour le site DOMANCHIN, qui a une topographie en forme de cuvette à l'est de la zone sommitale. La plus grande régularité du couvert de

neige pour les sites à l'intérieur (GB-1 et GB-2) est attribuée à la présence de conifères et d'arbustes qui permettent la rétention de la neige.

### Conclusion

Un pergélisol en équilibre dynamique avec les conditions climatiques et du milieu existe sous certains sommets de la région côtière du bassin de la Grande rivière de la Baleine. L'épaisseur du pergélisol est du même ordre de grandeur que celui du secteur de baie aux Feuilles, soit de 180 m. Vers l'intérieur du bassin, deux sites (GB-2 et GB-3) à 125 et 180 km de la côte hudsonnienne n'ont pas de pergélisol. Cette absence de pergélisol aux sommets de quelques collines est due aux importantes accumulations de neige à la surface. Le nombre restreint des lectures thermiques et les influences latérales causées par une surface irrégulière, nous empêchent pour le moment d'analyser les profils thermiques dans le but de déceler les changements temporels du bilan thermique liés aux fluctuations climatiques. Nous voulons souligner en dernier lieu que l'absence de pergélisol à l'emplacement de certains sites ne veut pas nécessairement dire une absence complète de pergélisol contemporain ou relique dans certaines situations géomorphologiques particulières telles certaines tourbières caractérisées par la présence de paises. Les études sont en effet encore très fragmentaires sur la répartition du pergélisol dans ce secteur.

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Service de géologie et géotechnique de l'Hydro-Québec, en particulier M. Germain Botteron, M.J. Grumich et M. Clément Locat. Également, M. Claude Lapierre du Département de géographie de l'Université de Montréal pour son aide sur le terrain et le Centre d'ingénierie nordique de l'École Polytechnique (CINEP), qui a défrayé les frais de transport.

### Références

- ANDERSLAND, O.B. & D.M. ANDERSON, 1978. Geotechnical engineering for cold regions. — McGraw-Hill, 566 p.
- ANNERSTEN, L., 1963. Permafrost investigations in the Ferriman area, Schefferville, P.Q. — McGill subarct. Res. Pap., 15: 86-91.
- BOTTERON, G., C. GILBERT, C. LOCAT & J.T. GRAY, 1979. Observations préliminaires sur la

CONDITIONS D'ENNEIGEMENT

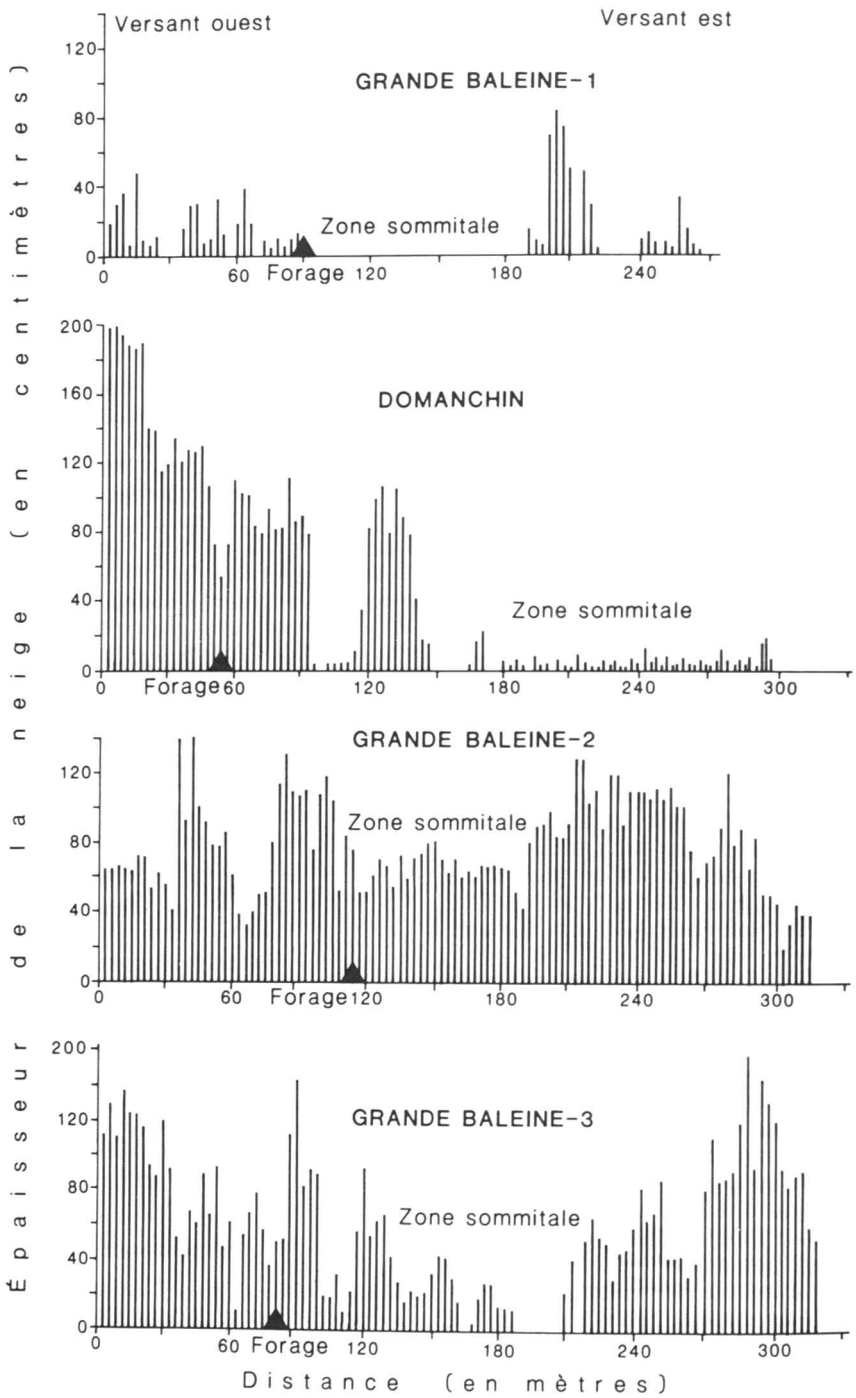


Figure 7. Conditions d'enneigement aux sites GB-1, DOMANCHIN, GB-2 et GB-3, à la fin de mars 1981.

- répartition du pergélisol dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine, Nouveau-Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 291-298.
- BROWN, R.J.E., 1967. Permafrost map of Canada. — Nat. Res. Council Canada, Div. Building Res. (NRC 9769) and Geol. Surv. Can. (map 1246 A).
- BROWN, R.J.E., 1973. Influence of climatic and terrain factors on ground temperatures at three locations in the permafrost region of Canada. — Pages 27-34 in *N. Am. Contr. 2<sup>nd</sup> int. Conf. on Permaf.*, Yakutsk, 782 p.
- BROWN, R.J.E., 1975. Permafrost investigations in Québec and Newfoundland (Labrador). — Nat. Res. Council Canada, Div. Building Res., Techn. Pap., no. 449, 36 p.
- BROWN, R.J.E., 1979. Permafrost distribution in the southern part of the discontinuous zones in Québec and Labrador. — *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 279-289.
- DIONNE, J.-C., 1978. Formes et phénomènes périglaciaires en Jamésie, Québec, Québec subarctique. — *Géogr. phys. Quat.*, 32 : 187-248.
- FILION, L. & S. PAYETTE, 1976. La dynamique de l'enneigement en région hémiarctique, Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — *Cah. Géogr. Québec*, 20 : 275-302.
- FILION, L. & S. PAYETTE, 1978. Observations sur les caractéristiques physiques du couvert de neige et sur le régime thermique du sol à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 32 : 89-91.
- FINDLAY, B.F. & R.M. GAGNON, 1976. Premier résultats du réseau climatologique de la Baie James. — Texte présenté au Symposium sur le projet de la baie James, Montréal, mai 1976.
- GRAY, J.T., J.A. PILON & J. POITEVIN, 1979. Le pergélisol et la couche active dans la toundra forestière au sud de la baie aux Feuilles, Nouveau-Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 253-264.
- IVES, J.D., 1962. Iron mining in permafrost, central Labrador-Ungava. — *Geogr. Bull.*, 17 : 66-77.
- JESSOP, A.M., 1968. Three measurements of heat flow in eastern Canada. — *Can. J. Earth Sci.*, 5 : 61-70.
- JUMIKIS, A.R., 1977. Thermal geotechnics. — Rutgers Univ. Press, N.J., 375 p.
- LAGAREC, D., 1973. Éléments de morphologie cryogène du golfe de Richmond, Nouveau-Québec. — *Cah. Géogr. Québec*, 17 : 465-482.
- LAGAREC, D., 1978a. Caractéristiques de la distribution des paises en Hudsonie, Nouveau-Québec. — *Ann. ACFAS.*, 45 : 102.
- LAGAREC, D., 1978b. Les modalités du dégel saisonnier sur des paises du golfe de Richmond, Nouveau-Québec. — *Ann. ACFAS.*, 45 : 102.
- NICHOLSON, F.H., 1978. Permafrost distribution and characteristics near Schefferville, Québec : Recent studies. — Pages 428-433 in *Proc. 3<sup>rd</sup> int. Conf. on Permaf.*, 947 p.
- NICHOLSON, F.H., 1979. Permafrost spatial and temporal variations near Schefferville, Nouveau-Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 265-277.
- NICHOLSON, F.H. & H.B. GRANBERG, 1973. Permafrost and snow cover relationship near Schefferville. — Pages 151-158 in *N. Am. Contr. 2<sup>nd</sup> int. Conf. on Permaf.*, Yakutsk, 782 p.
- PARÉ, J.J., J.G. LAVALLÉE & J.G. ROSENBERG, 1978. Frost penetration studies in glacial till on the James Bay hydro-electric complex. — *Can. geotech. J.*, 15 : 473-493.
- PAYETTE, S., H. SAMSON & D. LAGAREC, 1976. The evolution of permafrost in the taiga and in the forest tundra, western Québec-Labrador Peninsula. — *Can. J. For. Res.*, 6 : 203-220.
- SÉGUIN, M.K. & J. CRÉPAULT, 1979. Étude géophysique d'un champ de paises à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 327-337.
- THOM, B.C. & H.B. GRANBERG, 1970. Pattern of snow accumulation in a forest-tundra environment, Central-Labrador, Ungava. — *McGill subarct. Res. Pap.*, 22 : 76-86.
- WILSON, C.V., 1971. Atlas climatologique du Québec. — Service de l'environnement atmosphérique du Canada, Toronto, 180 p.



## THE WATER BALANCE OF UPLAND TUNDRA IN THE HUDSON BAY LOWLANDS-MEASURED AND MODELLED

W. R. ROUSE

*Department of Geography, McMaster University  
Hamilton, Ontario L8S 4L9*

### Résumé

La mesure des bilans énergétique et hydrique de la toundra, effectuée pendant deux ans à Churchill (Manitoba), a donné un aperçu des flux aqueux dans une variété de conditions d'humidité. Ces mesures proviennent d'une toundra élevée, à pergélisol permanent, pendant une année de précipitations normales et une année très pluvieuse. On peut suivre le processus d'évapotranspiration en utilisant la forme d'équilibre du modèle d'évaporation avec les données suivantes: la moyenne des températures quotidiennes de l'air, le rayonnement net, et une constante ( $\alpha = 0,94$ ), indépendante de l'humidité du sol. L'évapotranspiration totale entre la fonte des neiges au printemps et l'établissement de la couche de neige permanente en automne est comparable pour les deux années (environ 20 cm). Les pertes par infiltration sont un peu moins de la moitié des pertes par évapotranspiration pour l'année normale, mais deviennent beaucoup plus importantes lors de l'année pluvieuse. Ces pertes par infiltration alimentent les basses-terres humides et les lacs peu profonds; elles sont assimilables à une fonction simple de la profondeur de la couche active pendant une année normale, mais elles doivent rendre compte du surplus de précipitation pour une année pluvieuse. L'humidité saisonnière du sol démontre que lors du gel automnal, le sol est considérablement plus sec qu'au moment où l'humidité du sol est maximale le printemps suivant. Par conséquent, la fonte des neiges au printemps est nécessaire pour reconstituer l'humidité du sol, mais cette eau ne contribue pas au soulèvement par le gel en hiver.

### Abstract

Two years of water and energy balance measurements at Churchill, Manitoba for upland tundra underlain by continuous permafrost, during a normal rainfall year and a very wet year, give some insight into water fluxes under a variety of moisture conditions. The evapotranspiration process can be modelled adequately using the equilibrium form of the combination evaporation model with inputs of mean daily air temperature, a constant evaporability factor  $\alpha = 0.94$ , which operates independently of soil moisture, and net radiation. Total evapotranspiration between final snow melt in spring and permanent snow cover in the fall was similar both years at around 20 cm. The magnitude of seepage loss was a little less than one-half the evapotranspiration loss in a normal year, but substantially greater in the wet year. This seepage loss supplies the lowland wet areas and shallow lakes. It can be modelled as a simple function of active layer depth in a normal year but must account for excess precipitation in a wet year. The modelling of seasonal soil moisture indicates that at freeze-back in the fall, the soil is substantially drier than the maximum soil moisture the following spring. Thus spring snow melt is necessary for full soil moisture recharge and this water is not available to take part in winter frost heave.

### Introduction

The narrow strip of land paralleling the southwestern and southern Hudson Bay coast is unique in displaying open tundra with true arctic climate characteristics and continuous permafrost at such low latitudes.

This is largely due to proximity to Hudson Bay where the ice remains intact on the coast until late June and floating ice is still present until late July. At Churchill, winds blowing from a 180° sector from west through north to east, have their course over the cold ocean waters. Only south and southwest

winds are fully free of this influence and these occur only during 20% of the summer period. The summer climatic period with snow-free ground, substantial net radiation and above-freezing air temperature is largely confined to the months of June, July and August. Summer is a period when frequent squalls generated over Hudson Bay occur on "fair-weather" days which are interspersed with extended periods of major cyclonic activity with continuous light rain. Accumulated snowfall is normally measured at the airport during 10 months of the year for a total of 184 cm. One-half falls in the early winter months of October-November-December and little of this usually melts until the following May. Average snow depths on the open tundra rarely exceed 25 cm due to substantial wind erosion. As a result, soil temperatures in the upland tundra get very cold and soil freezing rapidly follows the sharp air temperature decrease at the onset of winter. Also the thin snow cover melts rapidly under the stimulus of intense solar radiation and increasing air temperature in the spring. This prepares the surface at an early stage for surface thawing in the active layer and liquid water movement compared to nearby forested areas and

lowland areas which boast a much deeper snow pack and hence later snow melt.

The objective of this report is to outline the nature of the water balance in the upland tundra as the season progresses and the active layer develops, and to model the parameters in the water balance to facilitate predicting the timing and magnitude of the ground water flux to low lying areas and the magnitude of soil moisture during the season and especially at freeze-back.

### Materials and methods

A detailed microclimatic measurement program at Churchill, Manitoba (lat. 58°45' N, long. 94°0' W) was begun in late winter 1978 and pursued throughout the thaw season until the onset of winter, then recommenced in later winter 1979 and carried through the summer until the following mid-winter. As such it spanned two complete thaw seasons and one freeze-back period.

#### SITE

Measurements were made at an upland tundra site on a former beach ridge in the area shown in Figure 1. The top 5 cm of soil

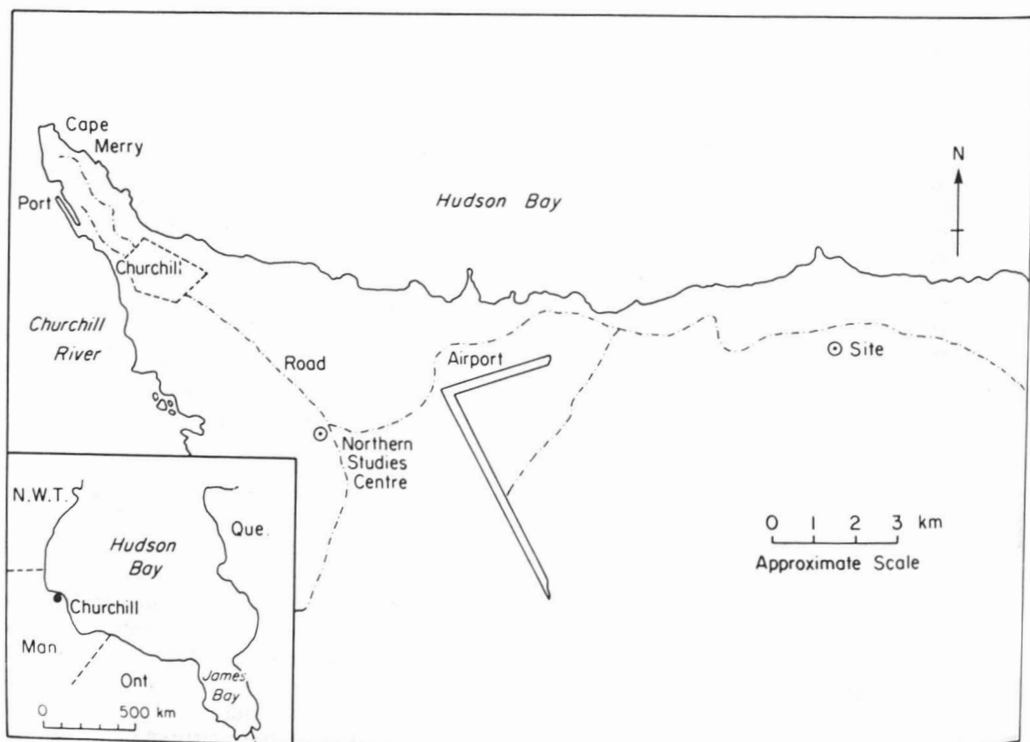


Figure 1. Location of the research site.



has an organic content of 5% beneath which there is homogeneous sand to well below the active layer. The vegetation has a 70% ground cover of short grasses with some representation of ground lichen and Labrador tea.

#### THEORY

##### Energy balance

The energy balance is a balancing of the energy available from net radiation,  $Q^*$ , whether it be positive or negative, with the heat storage in the subsurface layer,  $Q_G$ , the sensible heat flux between surface and atmosphere,  $Q_H$ , and the latent heat flux involved in evapotranspiration, sublimation and condensation,  $Q_E$ , where

$$Q^* = Q_G + Q_H + Q_E \quad (1)$$

Each term on the RHS is positive when the energy flow is away from the surface. When  $Q^*$  is negative, one, two or sometimes all three of the terms on the RHS will be negative or directed toward the surface. The latter is a common winter situation.

$Q_G$ , as a flux across the soil-air interface, in a homogeneous soil environment which is either frozen or melting, can be expressed in terms of the thermal conductivity of the soil,  $k$ , and the vertical soil temperature gradient  $\Delta T_s / \Delta z_s$  where

$$Q_G = k \frac{\Delta T_s}{\Delta z_s} \quad (2)$$

in which  $T_s$  is soil temperature and  $z_s$  is depth in the soil. Equation (2) is positive when the soil temperature decreases with depth which is a situation persisting through the melting period because  $T_s$  at the melting front is always  $0^\circ\text{C}$ , and  $T_s$  at the soil surface is usually  $> 0^\circ\text{C}$ . During the freeze-back period,  $T_s$  at the freezing front is still  $0^\circ\text{C}$ , but near the soil surface  $T_s < 0^\circ\text{C}$ , so  $Q_G$  is persistently negative. The conductivity term,  $k$ , is greater in frozen than thawed soils since  $k$  for ice is about four times as great as for water. The wetter the soil the higher its thermal conductivity upon freezing.  $Q_G$  can be treated as a heat storage over time, in terms of the soil heat capacity,  $C$ , the temperature change over time  $\Delta T_s / \Delta t$  for a given depth increment  $\Delta z_s$ , and the latent heat of fusion,  $L_f$ , which accompanies the melting and freezing of soil water, giving

$$Q_G = C \frac{\Delta T_s}{\Delta t} \Delta z_s + L_f \quad (3)$$

which is positive when the soil temperature increases over time, and melting of the soil water occurs. Equation (3) has been used operationally at Churchill for the calculations of  $Q_G$  dividing  $C$  into its subcomponents

$$C = C_s X_s + C_w X_w \quad (4)$$

where the subscripts  $s$  and  $w$  refer to soil solids and soil water or ice respectively, and  $X$  is the volume fraction of the component in the soil. The heat capacity of air is so small it is ignored.

The latent heat flux is derived from the energy balance by employing the Bowen ratio,  $\beta$ , in the form

$$Q_E = \frac{Q^* - Q_G}{1 + \beta} \quad (5)$$

in which  $\beta = Q_H / Q_E$ . Equation (5) can be expressed in terms of vertical dry and wet bulb temperature gradients  $\Delta T$  and  $\Delta T_w$  where

$$Q_E = (Q^* - Q_G) \left( 1 - \frac{\gamma}{S + \gamma} \frac{\Delta T}{\Delta T_w} \right) \quad (6)$$

in which  $\gamma$  is the psychrometer constant and  $S$  is the slope of the saturation vapour pressure-temperature curve at the mean air temperature. In employing equation (6), the remaining term in the energy balance equation,  $Q_H$ , is calculated as a residual quantity.

Another approach for determining the latent heat flux employs a combination of energy balance and aerodynamic techniques in a form known as equilibrium evaporation. Its basic development is outlined in Rouse & Stewart (1972) and it takes the form

$$Q_{EQ} = \alpha \left( \frac{S}{S + \gamma} \right) (Q^* - Q_G) \quad (7)$$

in which  $\alpha$  expresses the evaporability of the surface. Under conditions of unlimited water supply, in which potential evapotranspiration can occur,  $\alpha$  commonly has a value of 1.26. For a lichen-dominated, non-permafrost, upland tundra surface on a raised beach at Pen Island which is 400 km ESE of Churchill, Rouse & Stewart (1972) and Stewart & Rouse (1976) found that  $\alpha = 0.95$  for sets of data measured in the mid-summer period. They found that it remained essentially constant and that it was quite independent of the magnitude of soil water.

##### Water balance

The soil water balance expresses the change in soil water over time,  $\Delta S_m$ , in terms

of evapotranspiration loss,  $E$ , precipitation gain,  $P$ , and deep seepage loss,  $W_z$ , so that

$$\Delta S_m = P - E - W_z \quad (8)$$

$E$  derives from  $Q_E/\lambda$  where  $\lambda$  is the latent heat of vaporization.  $W_z$  is the water flux along the potential gradient whose rate for a given gradient is controlled by the hydraulic conductivity. Seepage rates in non-saturated permafrost soils are slowed by the increasing viscosity of the water which roughly triples for a temperature drop from 10 to  $-5^\circ\text{C}$ . This magnitude of decrease is common in permafrost soils in summer. Where the frozen zone is saturated it acts as an impermeable barrier to vertical seepage forcing it into horizontal flow which is further promoted by cold-induced viscosity gradients above the freezing front. In relatively wet geographical zones such as the Hudson Bay lowlands, initial vertical seepage in the active layer commonly changes to horizontal flow at or above the base of the active layer. As the active layer increases in these wet soils more soil water is free to move and the magnitude of water outflux increases.

#### MEASUREMENT

Net radiation was measured using a C.S.I.R.O. type net pyrradiometer mounted 1 m above the ground. All measurements were integrated half-hourly on a data system, stored on cassette tape and analysed by a computer.

The ground heat storage term was derived using equation (3).  $C$  was calculated using equation (4) and  $L_f$  from the soil moisture data, on the assumption that as soon as the soil temperature exceeded  $1^\circ\text{C}$  thawing of the ground water had occurred. In similar fashion, when soil temperature fell below  $-1^\circ\text{C}$ , it was assumed the ground-water had frozen.

The evaporative heat flux was derived from equation (6). Vertical temperature and humidity gradients were determined using two different systems. In 1978, aspirated, shielded thermopile transducers were used in the same manner as described by Rouse & Stewart (1972). These were placed at heights of 25, 50, 75 and 100 cm and three  $\Delta T$  and  $\Delta T_w$  gradients were established for intervals 25 to 50, 25 to 75, and 25 to 100 cm. These were then averaged. The sensors were regularly rearranged to see if systematic

measurement error showed up but none was evident. In 1979, thermometer diodes of a type described by Munro (1980) were substituted for the thermopiles. The diodes have the distinct advantage of eliminating a constant temperature reference. They performed well. The evaporative heat flux measurements were integrated for half-hourly periods and stored on tape as with net radiation.

It is difficult to assess the absolute accuracy of the energy balance results since there is no standard against which to compare.  $Q^*$  should be accurate to  $\pm 5\%$ . A large component of  $Q_G$  is comprised of the latent heat of fusion  $L_f$  and when soil temperatures are at  $0^\circ\text{C}$  one does not know if this is frozen or thawed. Since the zero curtain effect extends over a long time period, this is a persistent problem. As a result a realistic accuracy of  $Q_G$  would be  $\pm 15\%$  for daily calculations. Over a longer period of time the error level diminishes so that for 25 days it drops to around  $\pm 5\%$ . As presented by Spittlehouse & Black (1980), the accuracy of calculating  $Q_E$  and  $Q_H$  from the Bowen ratio varies dramatically depending on whether  $\beta$  is positive or negative, depending on the magnitude of  $\beta$ , depending on the magnitude of  $\Delta T$  and  $\Delta T_w$  and on the height interval between sensors. In this study, where Bowen ratios are normally fairly large and  $\Delta T$  and  $\Delta T_w$  are big, the probable relative error in  $\beta$  can be placed at  $\pm 20\%$  for daily totals and  $\pm 10\%$  for periods approaching a month. Using a root mean square calculation for the likely errors in each term gives a probable error in  $Q_E$  and  $Q_H$  of  $\pm 25\%$  for daily totals and  $\pm 12\%$  for periods in excess of 25 days.

Soil temperatures were measured at depths of 5, 10, 20, 40, 80 and 160 cm using thermistor probes. Replicate measurements were made at locations 2 m apart. In 1978 readings were made manually at 2 hour intervals using a digital potentiometer. As a result, the record usually spans only the day-time period between 0600 and 2000 hours although occasionally a 24 hour record was achieved. In 1979 the thermistors with an accuracy of  $0.1^\circ\text{C}$  were monitored in a calibrated module of the digital integrator. The record was continuous during this period, with half-hourly integrated averages being recorded on tape. The depth of the permafrost active layer when it exceeded the lowest measurement depth at 160 cm

was estimated by extrapolating the 80 to 160 cm soil temperature profile downward.

Soil moisture was measured every three days at replicated locations. The soil surface moisture, 0-5 cm, was determined gravimetrically as the average of 10 samples. Neutron probe readings were taken at 10 cm increments from 5 to 85 cm. Soil baskets 25 cm thick and 30 cm in diameter were placed over each tube in order to give reliable near surface measurements by temporarily deepening the soil column and preventing the escape of neutrons into the air. The baskets were housed in the soil surface during non-measurement periods so that they could maintain the moisture characteristic of the surrounding surface soils.

Rainfall was measured at four sites on the open tundra using standard rain gauges which were sunk into the ground so their tops were even with the tundra surface.

## Results

### GENERAL CLIMATE

Table I shows the general climate during the snow free period. Dates of final snow melt were close to normal in both years. The establishment of the permanent snow cover was especially early in 1979. In general though, the length of snow free period was within 10% of the long term average in both years. The snow free period in 1978 was cold and wet with temperatures 25% below normal and rainfall 25% greater than normal. In the main summer months of June-July-August rainfall exceeded normal by more than 50%. In the year 1979 both temperatures and rainfall were very close to normal especially during the main summer months.

The lower rainfall during the fall snow-free period is in part due to the shorter than normal length of the period. In both years there was measurable rain on about half the days and if one includes trace rainfall, rain actually fell on about three-quarters of the days.

### SOIL TEMPERATURE AND MOISTURE

Figure 2 shows time-depth patterns of soil temperature and soil moisture as well as the seasonal air temperature and rainfall.

Ground thawing preceded final snow melt so that the top soil layers could be recharged by snow melt water. The frost table had receded by final snow melt to 20 cm and 45 cm in 1978 and 1979 respectively. Soil thawing began before mean air temperatures rose above freezing indicating that absorbed solar radiation and the resulting ground heat flux plays an important part in heating the soil beneath the shallow snow cover. Maximum active layer depths in 1978 and 1979 were 200 and 190 cm respectively and were achieved about September 10 in both years.

During final snow melt there is often standing water on the surface. This infiltrates as the ground thaws creating quite wet surface soils. The wettest zone in the soil is found at depths around 0.5 m and this is evident before and after ground thaw as shown in Figure 2. Evidently infiltrating soil water has reached and concentrated at this level during freeze-back the previous fall and has been sandwiched in place by freezing from above and from beneath. As the summer season progresses drying of the soil proceeds from the surface downward but is interrupted at the surface by the frequent rainfall inputs. It is evident that the soils remained wetter throughout the 1978

TABLE I

General climate during the snow free period

	1978	Normal	1979
Date of final snow melt	May 30	May 27	May 25
Date of first permanent snow cover	Oct.10	Oct.14	Oct.1
Snow free days	132	140	128
Mean daily temperature (°C)	5.6	7.6	7.0
Measured/Normal	0.74		0.92
Rainfall (cm)	27.4	22.0	17.0
Measured/Normal	1.25		0.77
Rainfall-June through August (cm)	22.6	14.7	15.2
Measured/Normal	1.54		1.03

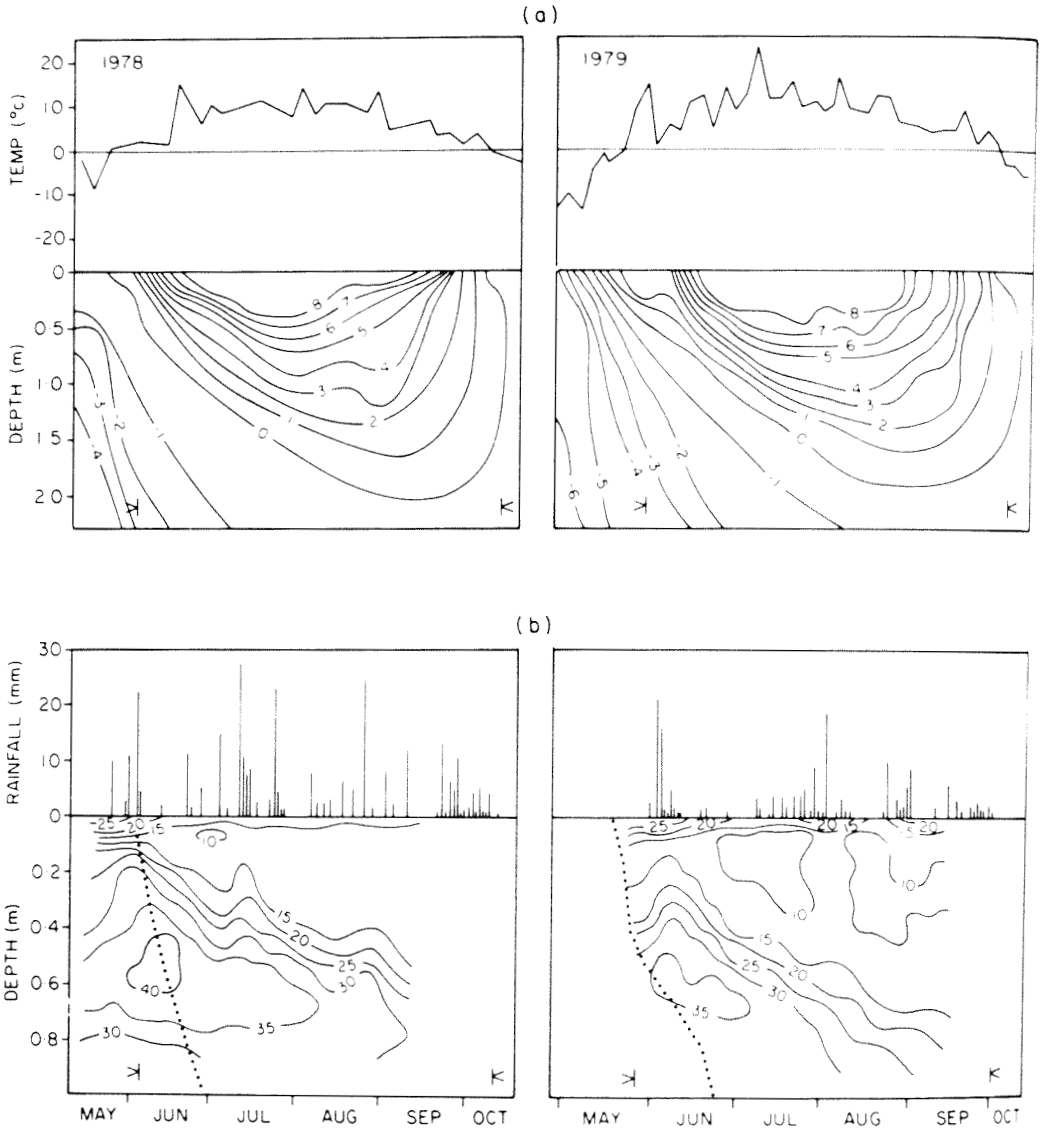


Figure 2. (a) Soil and air temperatures (°C). (b) Soil moisture (% volume) and precipitation (depth). The dotted line in Figure b denotes the depth of the frost table. > and < denote the dates of the last and first permanent snow cover respectively.

growing season than in 1979 in response to the large rainfall.

ENERGY BUDGET OF THE TUNDRA

Figure 3 presents the energy budget of the tundra during the measurement periods in 1978 and 1979. The late winter period is one in which the tundra has a total or partial snow cover. Early summer is defined by a snow-free tundra surface, but there is snow still in the nearby woodlands and low-lying

wetlands. Average soil temperatures near the surface are 4°C. In mid-summer the average air and soil temperatures are 8°C. In late summer  $Q^*$  is small, falling to one-quarter the mid-summer value, average air-temperature is one-half the mid-summer values, and there is no soil heating or cooling. Early winter sees the onset of a permanent snow cover, is a period of negligible  $Q^*$ , shows a reversal to a negative soil heat flux and has small sub-zero air temperatures. In mid-winter  $Q^*$  is small and negative, the heat

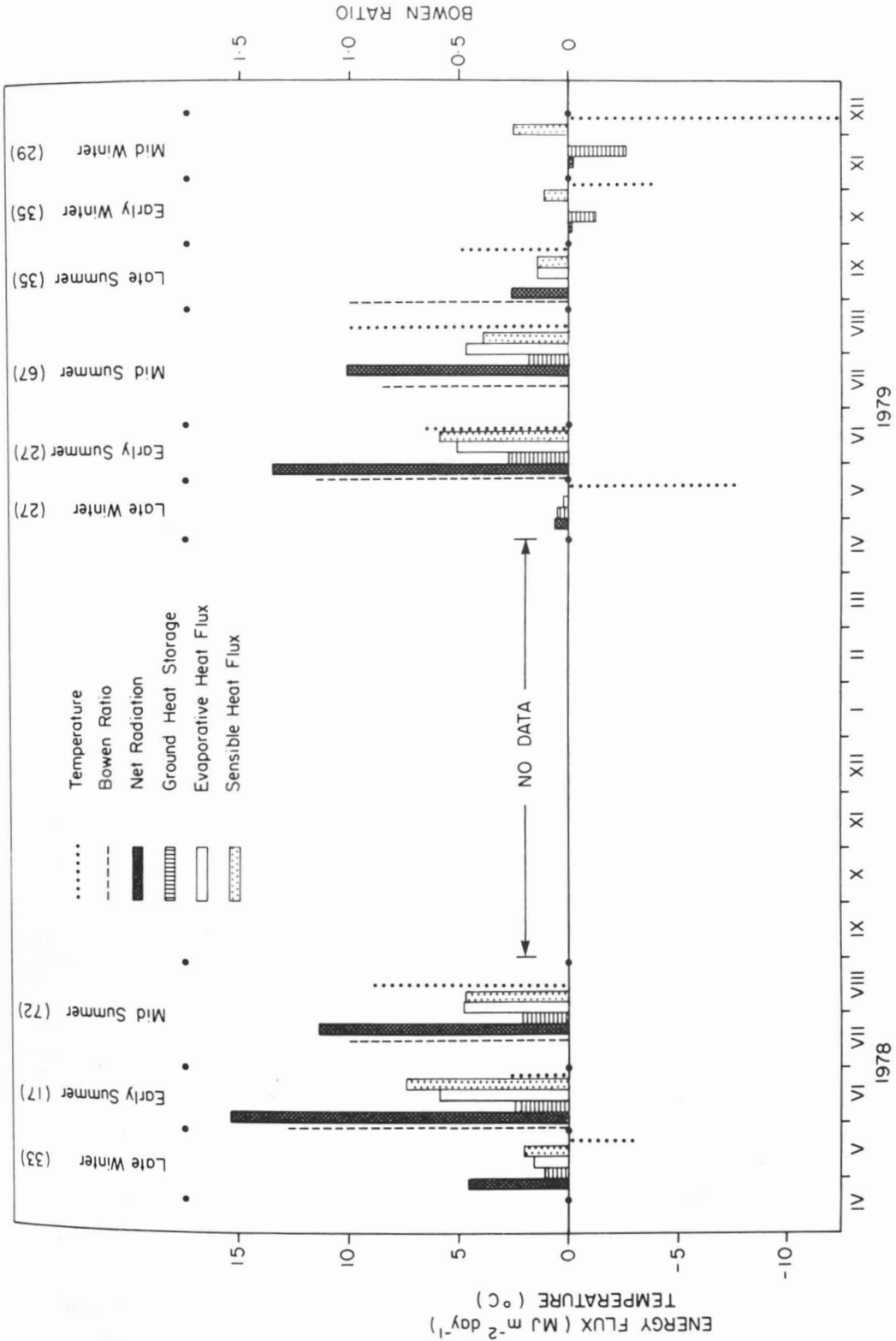


Figure 3. Energy balance of the tundra. The number in brackets after a seasonal period gives the number of days in the period. No Bowen ratios are plotted for the winter periods.  $\text{MJ} = \text{J} \times 10^6$ .

loss from the ground is large and sub-zero air temperatures are large.

Figure 3 indicates a very large variation in net radiation from the late winter period through to late summer.  $Q^*$  in late winter is small, in spite of relatively long-days and small cloud cover, due to the high snow albedos which averaged 0.60 throughout the late winter period. The soils have started to warm and the small available energy is proportioned more or less equally amongst  $Q_G$ ,  $Q_E$  and  $Q_H$ , all of which are small.

In early summer the energy regime of the tundra grows suddenly large.  $Q^*$  is great due to small albedo at 0.14, relatively small solar zenith angles and long days. Soils thaw and warm rapidly with 25% greater heat storage ( $Q_G$ ) than in mid-summer. The evaporative heat flux ( $Q_E$ ) and sensible heat flux ( $Q_H$ ) are 15 and 35% greater respectively than for mid-summer so that the local contribution to atmospheric heating from the upland tundra is large during this period.

In the long mid-summer period the average daily net radiation remains large by middle latitude standards and, although the evaporative heat flux is less than in early summer, the surface reaches its greatest evaporative efficiency, whereby  $Q_E/Q^*$  is 0.43 compared to 0.37 in both early and late summer periods.

By late summer  $Q^*$ ,  $Q_E$  and  $Q_H$  are once again small and  $Q_G$  becomes negligible. This is in spite of the fact that air temperatures are almost as large as in early summer and it shows the impact of short days in creating small  $Q^*$ .

In early winter the soil rapidly loses heat and this dwarfs in magnitude the energy of  $Q^*$  which is almost negligible.  $Q_E$  ceases due to the frozen tundra surface and sub-zero air temperatures. Thus the upward ground heat flux is largely dissipated as a sensible heat flux to the atmosphere.

Mid-winter witnesses a large ground heat loss comparable in magnitude to the early summer ground heat gain. This large  $Q_G$  compensates for the small negative  $Q^*$  and produces a substantial  $Q_H$  flux to the atmosphere.

#### MODELLING THE WATER BALANCE

##### Evapotranspiration

Using the 104 days of complete energy budget data in 1979 and another 13 com-

plete days in 1978 yields an average  $\alpha = 0.94$  in comparing  $E_{EQ}$  derived from equation (7) to  $E$  calculated from equation (6). This employs only mean daily temperatures in the calculation of  $S$ . A comparison of  $E_{EQ}$  to  $E$  for daily totals using  $\alpha = 0.94$  is shown in Figure 4. It is evident that as evaporation grows larger the error also grows larger. The coefficient of variation is 19% which, given the wide range of conditions from post snow melt through mid-summer to the lower energy cold days in the fall, is considered acceptable. The  $\alpha = 0.94$  agrees closely with the average value of 0.95 presented by Rouse & Stewart (1972) and Stewart & Rouse (1976) which was derived for upland tundra under more restricted and uniform conditions of mid-summer large radiation days. Equation (7) has been used to model the complete evapotranspiration for the 1978 season since the limited measured data agreed well with the extensive 1979 results. The measured and modelled results are presented for the complete snow free period in Figure 5. Seasonal totals in both years are about the same. The convex shape of the cumulative curves shows that evapotranspiration decreases as the season progresses reflecting primarily the decrease in solar radiation. This is especially prominent after mid-September when  $E$  has virtually ceased.

##### Deep seepage

The measured deep seepage shown in Figure 5 is derived from equation (8) using measured soil moisture and measured  $E$  in 1979 and calculated  $E_{EQ}$  for 1978.  $W_Z$  in each year is quite different due to the difference in rainfall. In 1978,  $W_Z$  was equal in magnitude to  $E_{EQ}$ , whereas in 1979, it was less than one-half of  $E$ . In each season the soil initially gained water through seepage after snow melt presumably due to horizontal near-surface flow from wetter areas. By mid-June, however, there was a substantial water loss which persisted probably through to freeze-back. The modelled results are derived from the relationship

$$W_Z = [(TPZ/TMZ) \cdot A] + [(TPZ/TMZ) \cdot B \cdot P^2] \quad (9)$$

in which  $TPZ$  is the depth of the active layer on a given day and  $TMZ$  is the maximum depth of the active layer.  $P$  is rainfall, and  $A$  and  $B$  are empirical constants.  $TPZ$  is derived by assuming constant active layer increase which is given by  $TMZ/N$  where  $N$  is the number of days between snowmelt

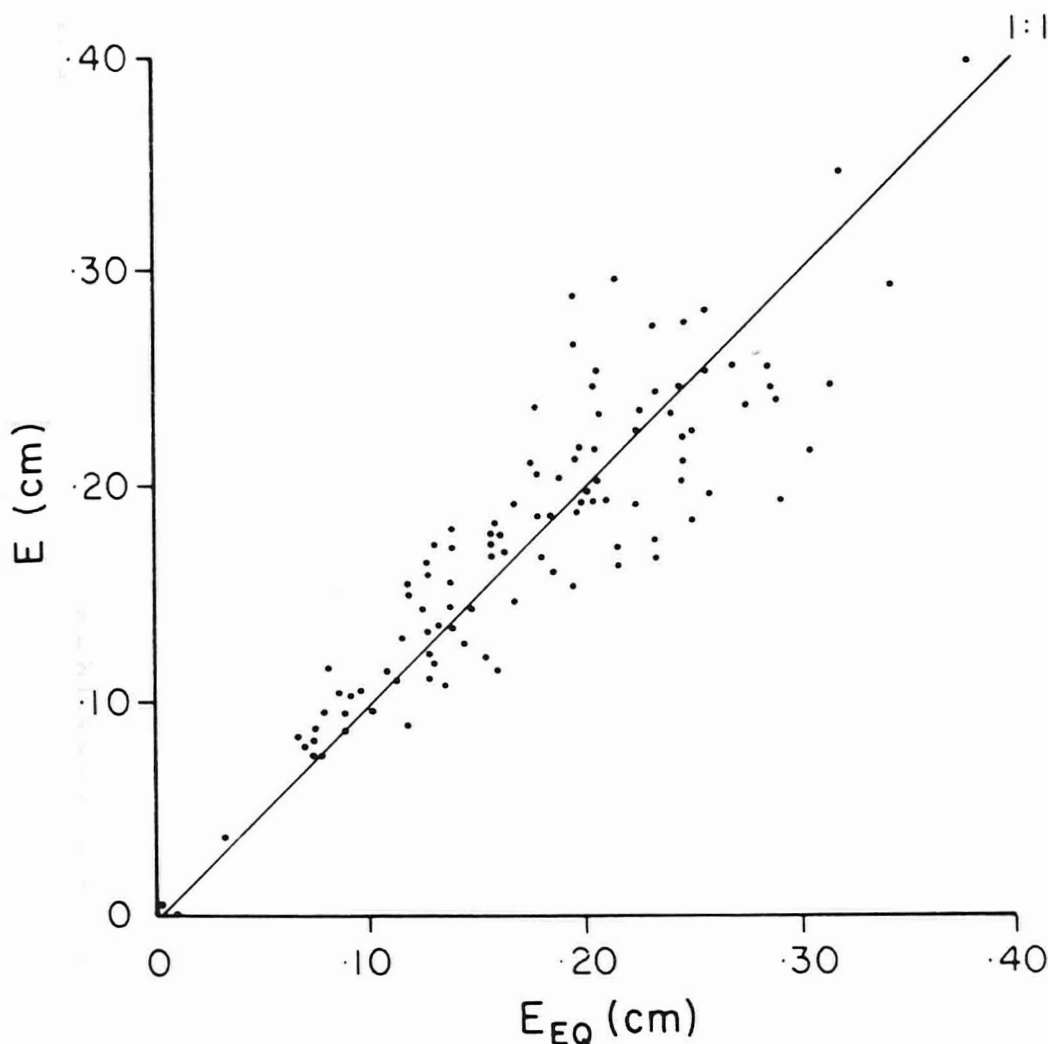


Figure 4. Daily evapotranspiration from the equilibrium model with  $\alpha = 0.94$  ( $E_{EQ}$ ) plotted against daily evapotranspiration derived from the energy balance ( $E$ ).

and the achievement of maximum active layer depth.

The modelled results in 1979 employ the constants  $A = 0.10$  and  $B = 0$ . Thus the precipitation term disappears from equation (9) and  $W_z$  increases linearly with the active layer increase. However, this simple relationship under-estimates for the very high rainfall conditions of 1978 and equation (9) is employed with constants  $A = 0.05$  and  $B = 1.0$  to give the model results. After September 10 when  $TPZ = TMZ$ , subsequent values of  $W_z$  are modelled with  $TPZ/TMZ = 1$  to give the model results to the onset of permanent snow cover.

#### Soil moisture

Soil moisture in Figure 5 was measured for both years. During the snow free period,  $\Delta S_m$  was much greater in 1978 than in 1979 due to the large  $W_z$ . The model results are derived from equation (8) using measured rainfall,  $E_{EQ}$ , and  $W_z$  calculated from equation (9). The model results are good and can be extended with confidence beyond the measurement period to the end of the snow free period. With the establishment of the permanent snow pack there was no longer any rainfall input to the soil, nor any snow melt, and evaporation loss must be negligible. Thus the soil moisture at this time

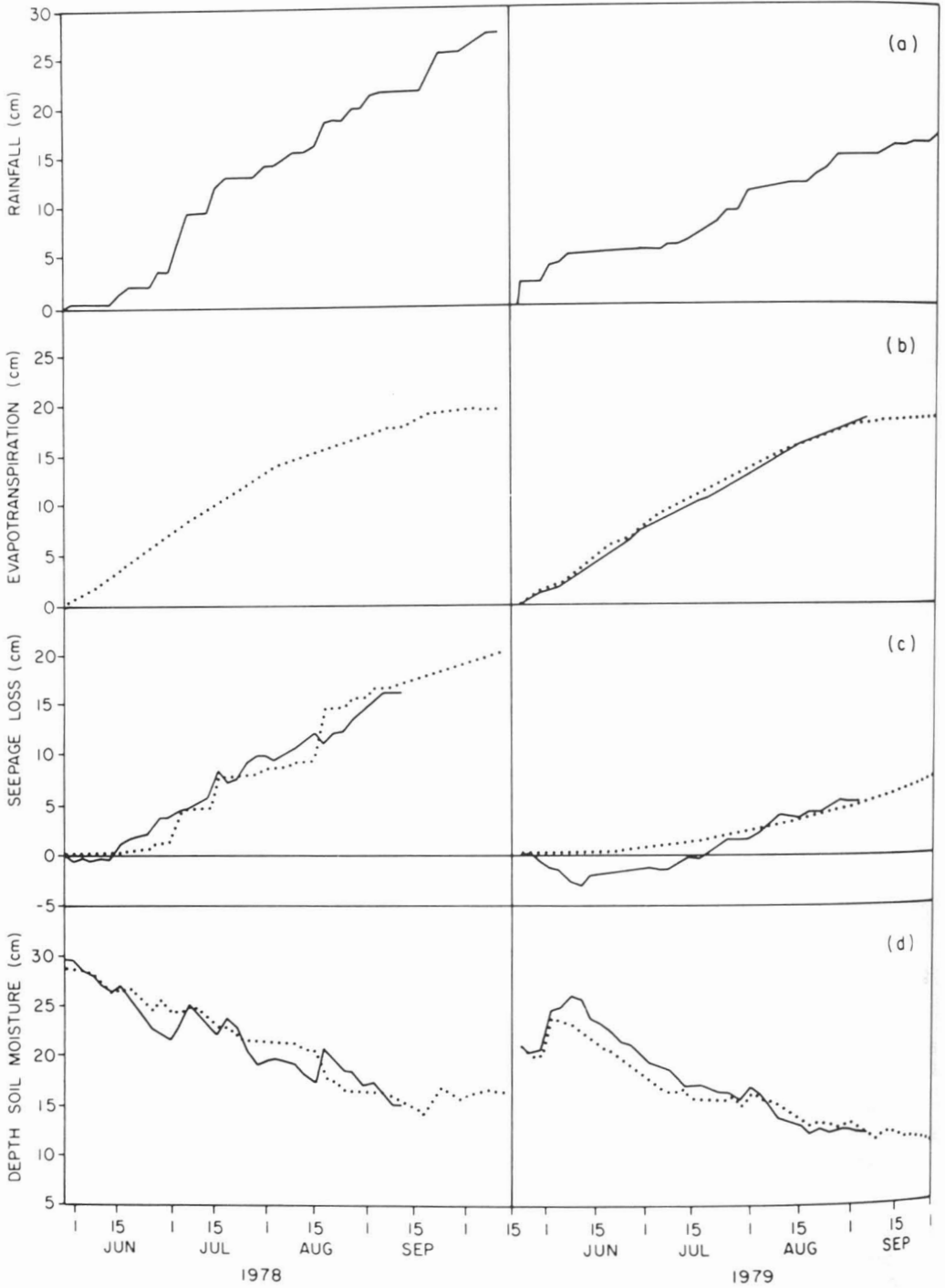


Figure 5. The water balance measured and modelled. The solid lines denote measure values and the dotted lines denote modelled values. All measurements apply to an 80 cm profile (a) cumulative rainfall; (b) cumulative evapotranspiration; (c) cumulative seepage loss; (d) seasonal soil moisture.



would represent the maximum amount in the top metre of soil. Some percolation loss would continue until complete freeze-back is achieved, normally about mid-December. This could be offset by migration of water to the freezing front, although in coarse-grained sands of the raised beach systems, that is unlikely. Thus for the two years modelled in this study, the upland tundra soils are well below saturation at freeze-back and frost heave will be negligible. It also means that snow melt in the spring can infiltrate into the soils whether they are frozen or thawed, and that this, in turn, moves sensible heat into the soil profile to further promote thawing.

### Conclusion

The energy balance indicates that the largest evapotranspiration occurs immediately following snow melt, with a subsequent decrease as the summer progresses. In this respect, the results are similar to those of Weller & Holmgren (1974) at Barrow, Alaska. However, with average  $Q_E/Q^* = 0.42$  at Churchill compared to  $Q_E/Q^* = 0.70$  at Barrow, the evaporation process is of substantially less magnitude in terms of available energy. This is attributable in small part to a large consumption of heat energy for ground thawing and in large part to a xerophytic plant cover.

The equilibrium model performs well under a wide variety of climatic conditions employing a constant evaporability factor. The agreement with measurements by Rouse & Stewart (1972) and Stewart & Rouse (1976) for similar terrain at Pen Island indicates that the dominant grass vegetation at Churchill must inhibit evapotranspiration in a manner similar to the lichen vegetation at Pen Island. The presence of permafrost at Churchill results in less energy available for evapotranspiration in mid-summer because of the continuously large ground heat flux used for melting ground water.

In a normal rainfall year, the magnitude of deep seepage loss increases linearly with increase in the active layer depth and can be modelled in terms of active layer depth. However, in a year of larger than normal rainfall, the rain moves quickly

through the soil profile, particularly as the active layer deepens, and this must be incorporated in the water flux model.

Soil moisture in the top meter can be estimated quite accurately for both the normal and the wet year using modelled evapotranspiration and modelled deep seepage loss. Extrapolation of the soil moisture to the onset of winter indicates that its magnitude is one-half or less of saturation during freeze-back. As a result, winter frost heaving is unlikely and the soils are able to absorb water from the melting of the thin tundra snow pack in the spring. This, in turn, hastens deepening of the active layer.

### Acknowledgments

This work has been continuously supported by the National Science and Engineering Research Council, Canada and also by a grant in 1978 from the National Geographic Society, Washington, D.C. I wish to thank Bill Erickson of the Churchill Northern Studies Centre, for his co-operation in the logistics associated with this study and for overseeing the winter time measurements, Peter Mills, now with Agriculture Canada, for his enthusiastic help in getting the measurement program started under quite arduous conditions, and Scott Munro, of the University of Toronto, for his help in designing the diode measuring system for temperature and humidity profiles.

### References

- MUNRO, D.S., 1980. A portable differential psychrometer system. — *J. appl. Met.*, 19: 206-214.
- ROUSE, W.R. & R.B. STEWART, 1972. A simple model for determining evaporation from high latitude upland sites. — *J. appl. Met.*, 11: 1063-1070.
- SPITTLEHOUSE, D.L. & T.A. BLACK, 1980. Evaluation of the Bowen ratio/energy balance method for determining forest evapotranspiration. — *Atmosphere-Ocean*, 18: 98-116.
- STEWART, R.B. & W.R. ROUSE, 1976. Simple models for calculating evaporation from dry and wet tundra surfaces. — *Arct. Alp. Res.*, 8: 263-274.
- WELLER, G. & B. HOLMGREN, 1974. The microclimates of the arctic tundra. — *J. appl. Met.*, 13: 854-862.



## MODELLING THE THAW-SEASON RUNOFF IN NOUVEAU-QUÉBEC

R. K. WRIGHT

*Department of Geography, McGill University  
805 Sherbrooke Street West, Montréal  
Québec H3A 2K6*

### Résumé

Une étude détaillée du bilan hydrique d'une toundra à lichen fut entreprise en septembre 1976 près de Schefferville, Nouveau-Québec. L'étude était centrée sur un site de 1,0 ha et sur un bassin adjacent d'une superficie de 100 ha. Cette étude a démontré que le transfert de la chaleur latente par le transport de l'humidité s'effectue pendant le développement de la couche active ainsi que pendant la période de gel. L'étude démontre en outre qu'une forme simple du modèle Priestley-Taylor prédit correctement le taux d'évapotranspiration pour quelques types de surface. Un modèle du bilan hydrique quotidien suggère qu'une proportion importante de l'écoulement net est emmagasinée dans la partie encore gelée de la couche active au début de la période de dégel. Cette eau emprisonnée est libérée seulement quand la couche active approche de son épaisseur maximale.

### Abstract

A detailed study of the water balance of a lichen-heath tundra underlain by permafrost was begun in September 1976 near Schefferville, Québec. The study was centred on a 1.0 ha hillside and an adjacent 100 ha catchment. The study revealed that the transfer of latent heat by moisture transport occurs during the development of the active layer as well as during freeze-up. The study also demonstrated that a simple form of the Priestley-Taylor model gave an accurate estimate of evapotranspiration from several types of surfaces. A water budget model based on the Priestley-Taylor model gave an accurate estimate of the seasonal runoff from the experimental catchment. A daily water budget model also suggested that a significant proportion of the net runoff is stored within the still-frozen part of the active layer early in the thaw season. That stored water is released only when the active layer approaches its maximum depth of thaw.

### Introduction

Despite the substantial increases in hydrologic research in northern environments during the past decade, there is still a serious lack of detailed studies of hydrologic processes. The two main areas in which information is lacking are the understanding of the processes which control the rate of evapotranspiration, especially with respect to the surface energy balance under varying moisture conditions, and the determination of the degree and magnitude of the interactions between the development of the active layer and the generation of runoff.

For these reasons a study was begun in September 1976 to examine, in detail, the components of the water balance during the thaw season in an environment underlain by permafrost. Within this broad approach there

were two detailed approaches: to examine the factors controlling the interaction between active layer development and runoff generation, and to develop and test a simple model for runoff prediction in northern environments.

### Study area

#### GENERAL AREA

The project was carried out near Schefferville, Québec (54°51' N., 67°01' W.; 520 m a.s.l.) in central Ungava (Fig. 1). Located within the Labrador Trough, the Schefferville area is characterized by broad, permafrost-free valleys and long, narrow ridges underlain by extensive permafrost, the depth of which exceeds 100 m in some

areas (Nicholson & Granberg, 1973). Lichen woodland and muskeg in the valleys grade into scattered spruce and lichen tundra on the ridges. Mean annual air temperature at the Timmins 4 Permafrost Experimental Site is  $-6.2^{\circ}\text{C}$ . The mean annual precipitation at the Schefferville townsite (15 km SE of the main research site) is 785 mm, of which 407 mm falls as rain between May and October and the rest falls as snow, primarily from October to May (Barr & Wright, 1981).

RESEARCH SITE

Located approximately 15 km NW of the Schefferville townsite at an altitude of 685 m a.s.l., the main research site (Hematite) represents a typical area of lichen-heath tundra. The surface cover over 80% of the site consists of a 5-10 cm thick lichen mat

(primarily *Cladonia* and *Cladina* spp.) and scattered dwarf birch (*Betula glandulosa*). The remaining 20% of the surface is bare, frost-scarred ground. The site (approximately 1.0 ha in area) is underlain by several members of the Sokoman Iron formation and the Ruth formation, both of which are weakly metamorphosed Proterozoic sediments that have been folded and faulted. The rocks range from a ferruginous, carbonaceous slate to a banded, partly leached iron formation (Harrison *et al.*, 1972). Those rocks are covered by a very stony till (20 to 30% by weight larger than 2 mm) approximately one metre thick. Permafrost underlies the entire site to a depth of at least 10 m and probably in excess of 30 m. The annual depth of thaw ranges from 2.0 m under lichen mat to 2.9 m under bare, frost-scarred ground.

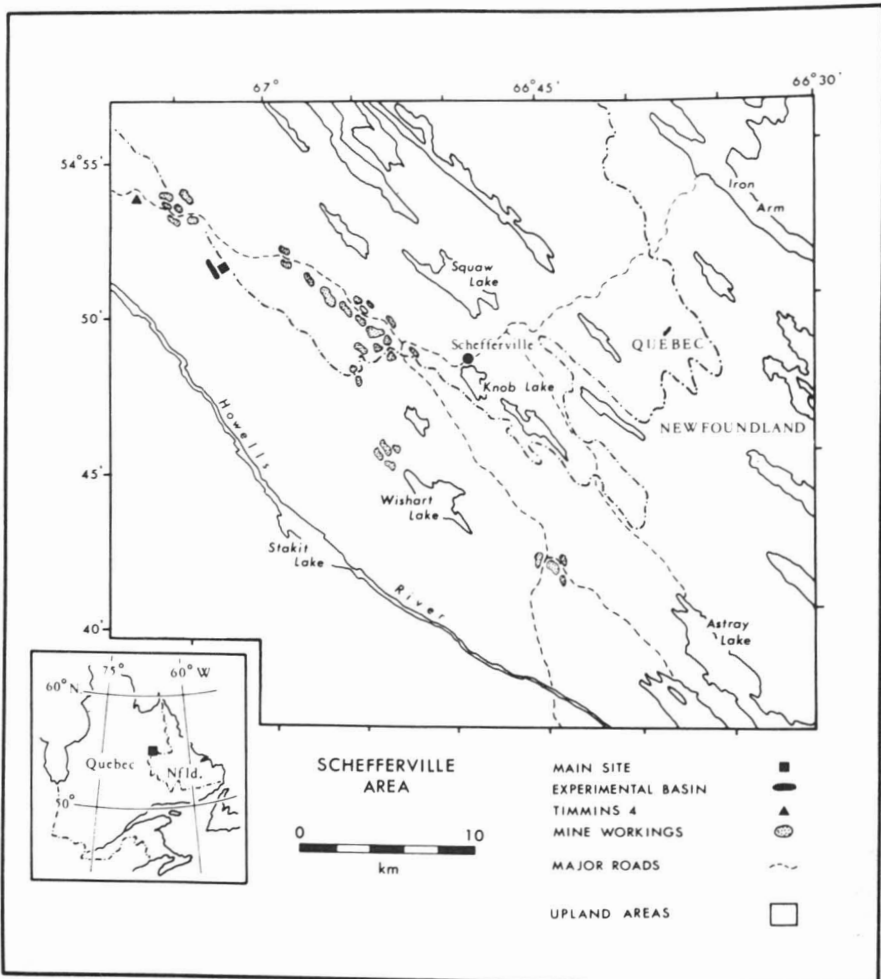


Figure 1. Location map for Schefferville and the study sites.

Data collection began at the main site in September 1976 with the installation of the thermistor cables (to a depth of 3 m). Comprehensive data collection began in May 1977 and continued through September 1977. Daily observations included air temperature and humidity at screen height, ground temperatures, incoming solar and net radiation, evapotranspiration (from bucket lysimeters), and rainfall (Wright, 1980). In October 1977 four access tubes (to 1.65 m) were installed for a neutron moisture probe. Soil moisture contents, ground and air temperatures, and snow depth were monitored throughout the subsequent freeze-up and winter of 1978. Intensive data collection began again in April 1978 and continued through August 1978. The observations at the main site in 1978 were paralleled by the observations of the water budget of a small basin adjacent to the main site (Bazilchuk, 1979).

EXPERIMENTAL BASIN

The topography of the basin (Chiselbum), like most of the Schefferville region, is strongly controlled by the underlying geology and, as a result, is quite asymmetric. The

large ridge on the west side of the basin (Fig. 2) is underlain by the Wishart quartzite, a slaty member of the Ruth formation, and several members of the Sokoman formation. The vale of the basin and the eastern ridge are underlain by slates; the Menihek being faulted against the Attikamagen. The fault forms the central axis of the basin, but is not believed to be a zone of groundwater loss because faulting in the two formations usually causes "sealing" along the fault zone (J. Orth, Supervisor, Development, IOCC, pers. comm., 1978).

An estimate of the permafrost distribution in the basin was made from the observed snowcover distribution of the winter of 1977-1978 (Bazilchuk, 1979) and the snowcover-groundwater permafrost distribution model of Nicholson (1978). It seems likely that permafrost underlies most of the basin (approximately 80%), being absent beneath the lake and, possibly, the creek. It is probable that the lower reaches of the creek are underlain by unfrozen slates, but that the upper reaches are underlain by permafrost and have the very deep active layers characteristic of wetlines in the Schefferville region (Wright, 1980).

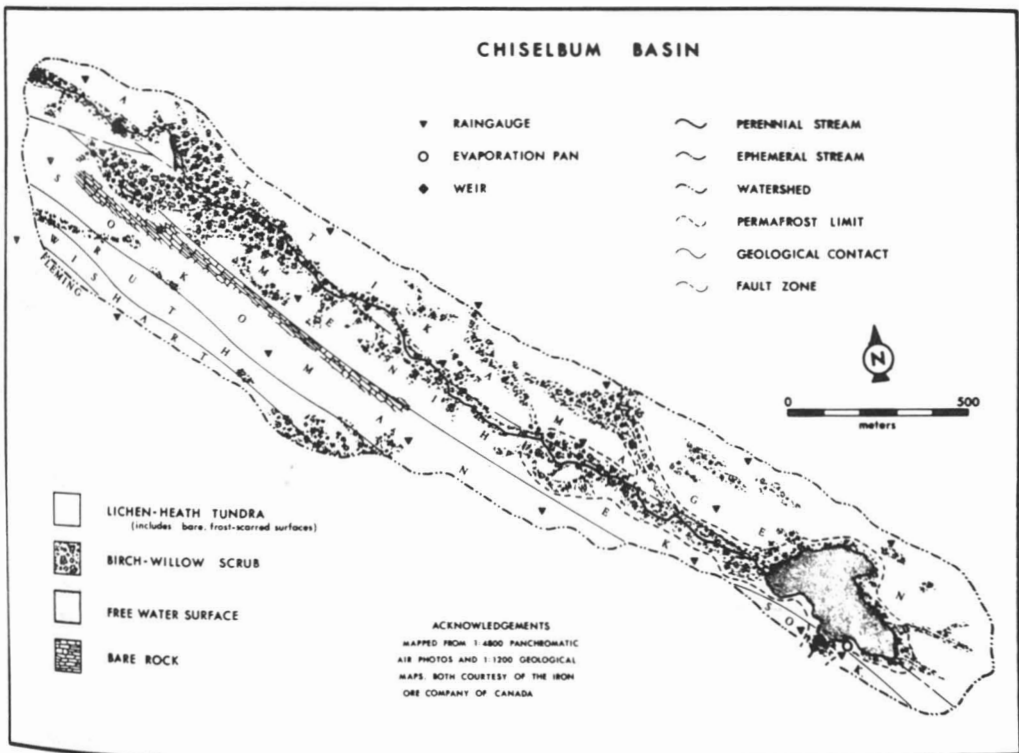


Figure 2. Plan map of the experimental basin.

The distribution of vegetation in the basin is largely controlled by aspect, exposure and drainage. The lowest-lying and normally saturated areas are covered by sedge meadow or moss-sedge bog while the very wet but non-saturated areas are covered by birch-willow scrub. Better drained sites are occupied by lichen heath tundra or, in a few isolated areas, very open lichen woodland. Exposed areas are covered by frost-scarred ground where there is a layer of till or frost-shattered bedrock where the till is absent.

Observations in the basin included rainfall, stream discharge, pan evaporation, and wind-run. Rainfall was measured with a 22-gauge network (Bazilchuk, 1979). Rainfall at two gauges (near the basin outlet) was measured daily while the rest of the network was monitored after every significant rainfall (typically every third day). Stream discharge was initially estimated using an empirical rating curve, but a 90° V-notch weir was installed as soon as the water levels fell sufficiently to allow installation (1 July 1978). Free water evaporation was estimated using a Class 'A' pan. Evapotranspiration for the basin was not measured directly, but was instead estimated from the Priestley-Taylor form of the combination model.

#### METEOROLOGICAL CONDITIONS DURING THE STUDY

Both 1977 and 1978 were wetter than normal during the thaw season. June rainfall was normal in both years although a record amount of snow was measured in June 1978. July and August had above-average rainfall in both years; especially August 1978, which was the wettest August on record. Air temperatures and bright sunshine (and, by implication, incoming solar radiation) were slightly below normal during both thaw seasons. Overall the two thaw seasons were wetter than average (especially July 1977 and August 1978), but otherwise representative of normal conditions in the Schefferville region.

#### Ground thermal regime

Although this study's primary objective was examination of the water balance, information about the ground thermal regime was collected in order to monitor the development of the active layer. Point determinations of the depth to the frost table were to be used to estimate the depth to the bottom of the saturated zone while the areal variation

in the depth to the frost table was needed for estimation of the total volume of supra-permafrost groundwater storage.

It was originally expected that the frost table position at a given point could be derived from interpolation of the observed temperature values at a thermistor cable. Similarly, it was expected that the areal variation in the depth of the frost table could be obtained by application of the relationship between percentage bare ground and the depth to the frost table (Nicholson, 1978). Significant problems developed, however, in both of these procedures because of the implicit assumption of the purely conductive transfer of heat; it became clear that there was also a significant transfer of latent heat by moisture transport.

The transfer of latent heat was indicated by four phenomena observed at the main site (Wright, 1980): (1) small but significant transfers of moisture within the unsaturated zone during freeze-up as a result of changes in the temperature field within the active layer; (2) significant percolation of suprapermafrost groundwater into still-frozen ground, accompanied by sharp increases in ground temperatures within the still-frozen zone; (3) the presence of a zero-curtain zone (10-15 cm thick) throughout the thaw season as well as during freeze-up; (4) the coincidence of thick saturated zones and rapid increases in the depth of thaw within the active layer.

The first phenomenon simply provides field evidence of moisture transport occurring as a result of frost-induced moisture gradients. It seems unlikely that the transfers observed at Hematite would have a significant impact on the annual energy budget of the active layer, but this might not be true of finer-grained soils.

The last three phenomena indicate that there is significant latent heat transfer by moisture transport within the still-frozen portion of the active layer during the thaw season. These transfers occur where the hydraulic conductivity of the frozen material and the downward pressure gradient at the thawing front are sufficiently large. The effective hydraulic conductivity of the frozen ground is a function of the intrinsic hydraulic conductivity of the ground as well as the amount of interstitial ice and the soil temperature (Williams, 1976).

The total downward pressure gradient at the thawing front is a function of the hydraulic

conductivity of the soil and the depth of the saturated zone. Thus, for any given location, the greater the depth of the saturated zone, the larger the volume of water percolated into the still-frozen ground (Wright, 1980). This implies that since significant amounts of water percolated into the frozen ground at the main site (Fig. 3), even larger volumes may have percolated into the still-frozen ground within the wetlines, where the saturated zone often exceeds one metre in depth (Lewis, 1977). As the percolated water is presumably not released until the ground thaws to that depth, the percolated water should represent a form of storage.

**Water budget model**

DEVELOPMENT

Examination of the radiation regime at the main site confirmed that accurate estimates of net all-wave radiation ( $Q^*$ ) over both lichen and bare surfaces could be made from estimates of the total incoming solar radiation ( $K_{\downarrow}$ ) (Wright, 1980). Estimation of the proportioning factor ( $\tau$ ) was based on a total of eight complete days of data. The values of  $\tau$ , 0.60 over lichen and 0.65 over bare, frost-scarred ground, agreed very well with previous results from northern Ontario (Rouse *et al.*, 1977).

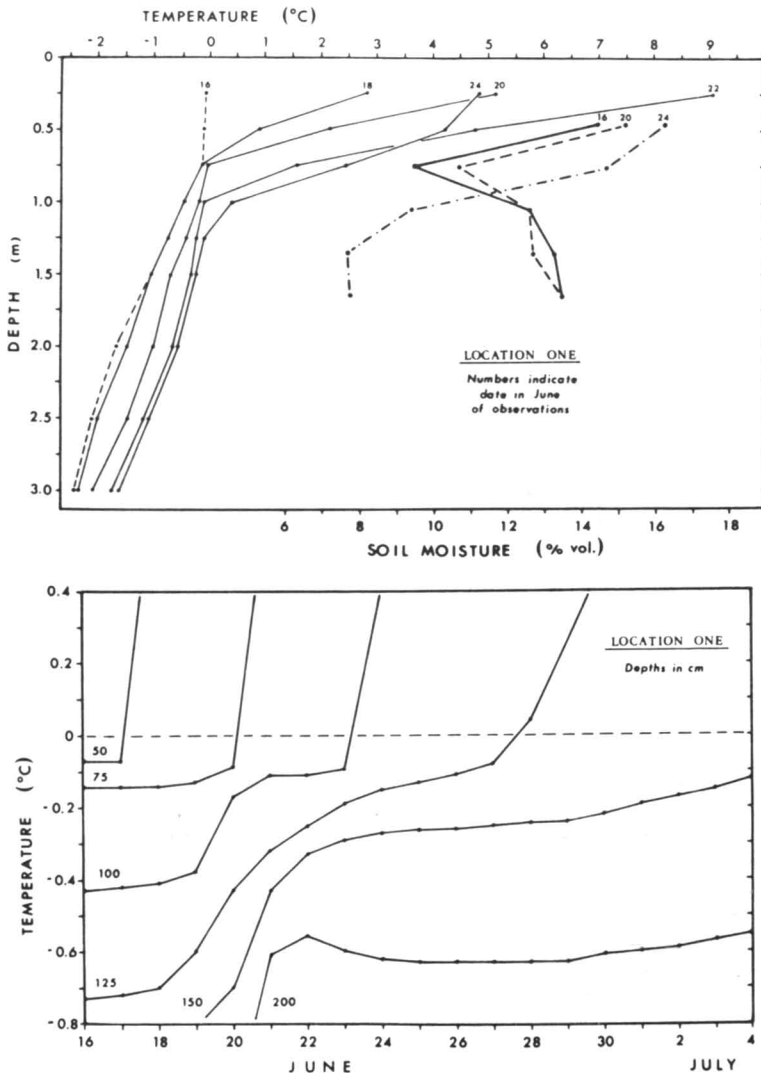


Figure 3. Temperature and soil moisture profiles and variations of temperature through time observed at Location One during June 1978. Location One is covered by bare, frost-scarred ground.

TABLE I  
List of symbols

ET	Evapotranspiration
$K_{\downarrow}$	Incoming shortwave radiation flux
L	Latent heat of vaporization
P	Precipitation
$Q^*$	Net all-wave radiation flux
$Q_G$	Ground heat flux
RO	Runoff
ROS	Total of runoff plus storage
$\Delta S$	Change in moisture storage
s	Slope of saturated vapor pressure vs. temperature curve
$\alpha$	Surface wetness parameter
$\gamma$	Psychrometric constant
$\tau$	Ratio of $Q^*$ to $K_{\downarrow}$

Evapotranspiration (ET) at the main site was estimated by two methods (Table I): lysimeters and the Priestley-Taylor form of the combination model (Priestley & Taylor, 1972), where

$$ET = [L^{-1}] \left[ \frac{s}{s + \gamma} \right] [Q^* - Q_G] \alpha \quad (1)$$

In this case, the value of  $Q^*$  was estimated using the relationship between  $Q^*$  and  $K_{\downarrow}$  noted above. The value of  $Q_G$ , although it can be significant just after snowmelt and during freeze up, tends to be relatively small (less than 5% of  $Q^*$ ) during most of the thaw season (Wright, 1980). The value of  $Q_G$  was therefore ignored in calculating ET. Calculation of L and s requires knowledge of the wetbulb air temperature, but, as has been shown (Rouse & Stewart, 1972), screen height dry-bulb air temperature yields acceptable results. The resulting formulation is

$$ET = [L^{-1}] \left[ \frac{s}{s + \gamma} \right] [(K_{\downarrow}) \tau] \alpha \quad (2)$$

where  $\alpha$  is a non-dimensional surface wetness parameter.

The measured ET from the bare, frost-scar lysimeters and the mixed moss-vascular covered lysimeters was in good agreement with the Priestley-Taylor model with  $\alpha$  equal to 1.26 under almost all moisture conditions. This result was somewhat surprising as it was expected that the bare ground would show a decline in measured ET as the surface dried (Marsh *et al.*, 1980). It is believed that this did not occur because the frequent rainfalls in the study area kept the surface layer well-moistened.

In contrast the measured ET from the lichen-covered lysimeters was in good agreement with the Priestley-Taylor model (with  $\alpha$  equal to 1.26) only under "wet" conditions; that is where the rainfall was in excess of the amount of ET predicted by the model with  $\alpha$  equal to 1.26. Where the rainfall was less than the predicted ET ("dry" conditions), the apparent value of  $\alpha$  dropped to a mean value less than unity. The value of  $\alpha$  under dry conditions ranged from 0.47 to 1.16 with a mean value of 0.74 (Fig. 4).

The variation in  $\alpha$  for lichen surfaces is believed to result from the characteristics and structure of the lichen mat itself. The two primary types of lichen found in the study area, *Cladina* and *Cladonia* form a mat composed of a fibrous upper layer and a partially decomposed lower layer. Most of the water stored within the mat as a whole is stored in the lower layer of the mat; the fibrous upper layer does not contain much water.

The driving force for evapotranspiration from the lichen mat is the difference between the wet-bulb depressions of the surface and the air. If the surface of the mat is wet, then the surface resistance to moisture transfer is very low and acceptable results are obtained from the Priestley-Taylor model with  $\alpha$  equal to 1.26. If little rain has fallen, however, only a small amount of ET needs to occur before the effective evapotranspiring surface is below the surface of the mat. This sharply increases the surface resistance to moisture transfer and the apparent value of  $\alpha$  drops accordingly.

This may also explain the discrepancy between the dual value of  $\alpha$  for lichen surfaces found in this study and the results of Rouse & Stewart (1972). They found that  $\alpha$  was near 0.95 most of the time, though it ranged from 0.66 to 1.13. The lichen cover in northern Ontario, in contrast to the Schefferville region, is made up of a lower, denser lichen species such as *Cetraria* spp. and *Stereocaulon paschale* (Stewart & Rouse, 1976). The aerodynamic and moisture characteristics of that type of mat probably do not produce as sharp an increase in surface resistance as was observed at Hematite. In addition, the meteorological conditions in northern Ontario are much drier than at Schefferville, so values of  $\alpha$  equal to 1.26 would be correspondingly rare.

The wet-bulb depression of the overlying air mass may also have some influence on



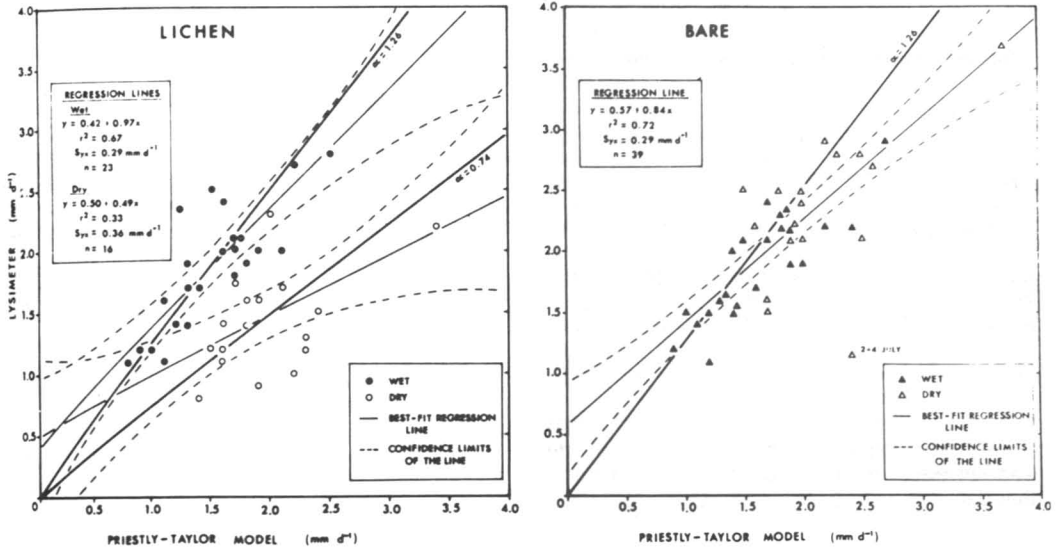


Figure 4. Comparison of the measured ET from the lichen-covered and bare lysimeters and the ET predicted by the Priestley-Taylor (1972) model.

the value of  $\alpha$  (Drake, 1979). On "dry" days, the value of  $\alpha$  increased slightly as the wet-bulb depression at screen height increased (Wright, 1980), but the effect appeared to be quite small. This effect may explain part of the scatter between the expected and observed values of ET, but it probably tends to be averaged out over time.

The resulting evapotranspiration model, then, is that shown in Equation 2 where  $\alpha$  equals 1.26 for all surfaces on wet days. On dry days, the value of  $\alpha$  for lichen surfaces was set equal to 0.74 while evaporation from bare rock surfaces was set equal to the amount of rainfall on that day.

APPLICATION

To test the general applicability of the water budget model, a simple water budget model was used to predict the runoff from the experimental basin. The resulting model was therefore

$$RO = P - ET - \Delta S \quad (3)$$

where P was measured and ET was estimated using the procedure outlined above. The actual magnitude of moisture storage in the basin was not available, so the output of the model was, in fact, runoff plus storage ( $ROS = RO + \Delta S$ ). The value of ROS was estimated for each day of the modelling period and compared to the observed runoff (discharge per unit area).

The appropriate values of  $\alpha$  and  $\tau$  for each surface type were estimated using data collected at the main site (Wright, 1980) and from the published literature (Rouse *et al.*, 1977). The area of each of the surface types was mapped from panchromatic air photos and detailed maps provided by the Iron Ore Company of Canada. The area and associated parameters for each surface type are given in Table II. The modelling period began on 21 June 1978, following the complete melting of a late season snowfall, and ended on 31 August 1978 when weather and manpower requirements forced an end to the observations.

Figure 5 and Table III summarize both the daily and cumulative totals of the water balance components from 21 June to 31 August 1978 for the experimental basin. The most important statistics are that the measured runoff for the modelling period was 168.8 mm while the estimated runoff plus storage was 179.2 mm, a difference of less than 6%. This would suggest that the water budget model is quite accurate, but there is still some question with regard to the magnitude of net storage over the modelling period.

Although no direct measurements of moisture storage were made over the basin as a whole, the water level measurements made at the lake outlet have been used to estimate the net amount of storage in the

TABLE II  
Surface parameters and areas of cover types

Surface	Area (%)	$\tau$	$\alpha$	Condition
Lichen-heath tundra	66.9	0.60	1.26	wet
Birch-willow shrub	18.1	0.64	0.74	dry
Bare soil	7.4	0.65	1.26	all
Free water	5.0	0.73	1.26	all
Bare rock	2.5	0.65	1.26	wet
			*	dry

Total basin area : 101.0 ha

\*ET from bare rock surfaces on "dry" days was set equal to the amount of precipitation on that day.

lake. Those calculations indicate that the net amount of storage in the lake during the modelling period was less than 5 mm; or less than 3% of the measured runoff. The net storage over the basin as a whole was probably larger than that, but it is unlikely to have been very much larger. In any case, the net storage would have tended to offset the 6% over-estimate of seasonal ROS. Over the thaw season then, the amount of storage does not appear to have had a significant impact. The same cannot be said for shorter periods, as consideration of the variation of cumulative ROS about the cumulative total of observed runoff indicates.

The close overall correspondence between the cumulative totals of the observed and predicted runoff suggests that the deviations between the two totals resulted largely from storage within the basin; storage which the meagre data from the main experimental site in late August 1978 suggests was relatively small. These considerations are not conclusive evidence that net storage over the modelling period was negligible, but they do suggest that the water budget model accurately predicts the runoff over periods approaching the length of the thaw season.

Over periods shorter than 60 days, it becomes very difficult to ascertain the accuracy of the model because net storage represents a significant proportion of the water budget; much larger than any error likely to derive from the estimates of the other components of the budget. For this reason a simple daily runoff generation model was devised in the hope that more information could be derived regarding the sources and magnitudes of error in the water budget model.

#### DAILY WATER BUDGET MODEL

The daily water budget model was based on the assumption that all ET occurred from a surface reservoir which represented the surface vegetation and/or the uppermost soil horizon (for bare or vegetated surfaces) or the free water surface. Any precipitation exceeding the accumulated deficit of that

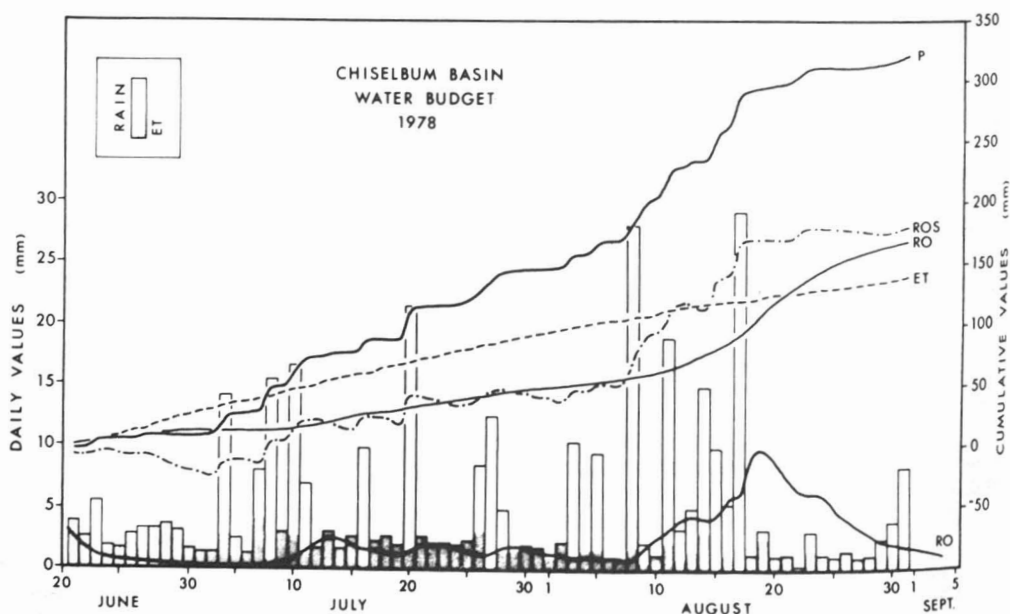


Figure 5. Daily values and cumulative totals of the water budget model.

TABLE III  
Results of seasonal water budget model  
(millimetres of water)

Daily statistics							
Evapotranspiration							
	Tundra	Rock	Scrub	Water	Basin ET	(P-ET)	Rain
Mean	1.73	0.97	2.60	2.81	1.94	2.45	4.40
S.D.	0.82	0.95	1.50	1.56	0.95	7.08	6.76
Max.	3.60	3.70	6.50	6.78	4.19	28.32	28.57
Min.	0.24	0.00	0.28	0.29	0.25	-4.19	0.00

Seasonal totals							
Estimated evapotranspiration						Measured	
Tundra	Rock	Scrub	Water	Basin	(P-ET)	Rain	RO
126.5	70.8	179.6	204.8	141.7	179.2	320.9	168.8

reservoir was assumed to generate runoff. The generated runoff was routed through time by a unit hydrograph separated from the storm of 20 July 1978 (Wright, 1980). No attempt was made to model the spatial variability of runoff generation within the basin.

The preliminary results of the model were a reasonable approximation of the observed

runoff, but the predicted values were consistently too high in the early part of the thaw season and consistently too low in the latter part of the thaw season (Fig. 6). Further, the observed runoff from the storm of 20 July was only 69% of the predicted runoff. An assumption was made, therefore, that the difference (31%) was abstracted throughout the thaw season, but that the storage within the reservoir representing the abstracted

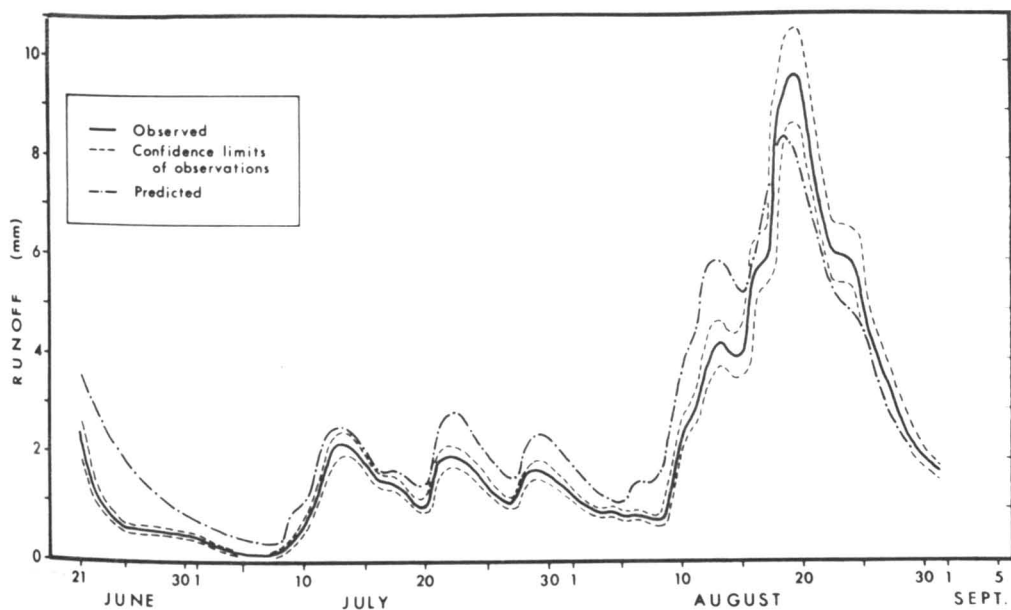


Figure 6. Comparison of the hydrograph generated by the daily water budget model in its original form and the observed hydrograph. Confidence limits of the observed hydrograph are plus or minus 10% of the observed runoff.

runoff was released only towards the end of the thaw season. The discharge from that reservoir was modelled as the discharge from a reservoir of undetermined shape. A good correspondence was found between the expected groundwater discharge (the residual between the observed and predicted runoff) and the cumulative total of the abstract runoff. The final form of the daily water budget model provided very close approximations to the observed runoff (Fig. 7).

The percolation of large amounts of suprapermafrost groundwater was observed at the main site and similar phenomena have been reported in the literature (McGaw *et al.*, 1978). This suggests that the assumption of the abstraction by percolation and refreezing, and the subsequent release by thawing, of a proportion of the suprapermafrost groundwater represents a real phenomenon, although the actual form of the model used may not accurately represent the actual mechanism. Some of the abstraction probably occurs along the ridges and midslopes (such as at Hematite), but the majority of the frozen ground infiltration probably occurs along the wetlines.

## Conclusion

The very good results from both the seasonal and daily water budget models developed in this study suggest that there is good potential for a water budget model where ET is estimated from the Priestley-Taylor form of the combination model. The effect of storage within the system is generally small over an entire thaw season, but it can be important over shorter periods.

The success of the model, despite the simplicity of the inputs, suggests that there is a strong potential for applying such a model to the estimation of the runoff potential in many northern regions. If this type of model were combined with a more sophisticated, automated surface-type classification system (Beaubien, 1980), it could provide a very cost-effective method for monitoring water resources in northern environments.

## Acknowledgments

I would like to thank all the people that have helped on the project, often under trying conditions, particularly N. Bazilchuk and the staff of the McGill Subarctic Research Station, Schef-

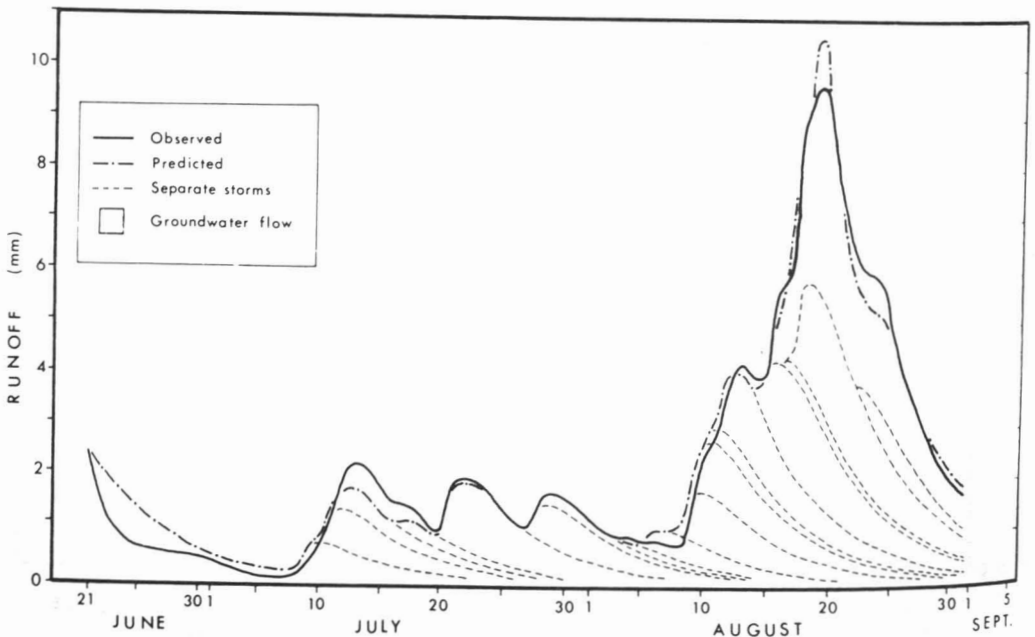


Figure 7. Comparison of the hydrograph generated by the daily water budget model in its final form with the observed hydrograph.

ferville, Québec. This research has been supported by le ministère de l'Éducation du Québec (programme FCAC), the Department of Indian and Northern Affairs, the Centre for Northern Studies and Research of McGill University, and the Iron Ore Company of Canada.

### References

- BARR, D.R. & R.K. WRIGHT, 1981. Selected climatological data, 1955-1980, for the Schefferville (A) Station. — McGill Subarctic Research Paper, no. 32, McGill University, Montréal, p. 117-134.
- BAZILCHUK, N.R., 1979. The water balance of a small, high subarctic drainage basin near Schefferville, Québec. — B.Sc. thesis, McGill Univ., Montréal, 100 p.
- BEAUBIEN, J., 1980. Accentuations numériques d'images Landsat contre les classifications automatisées pour la cartographie végétale. — Pages 301-306 in *Compte rendu du sixième symp. can. sur la télédétection*, Centre canadien de télé-détection, 699 p.
- DRAKE, J.J., 1979. Some observations on the constancy of  $\alpha$  in the equilibrium model for evapotranspiration. — *Clim. Bull. McGill Univ.*, Montréal, no. 26, p. 11-18.
- HARRISON, J.M., J.E. HOWELL & W.F. FAHRIG, 1972. A geological cross-section of the Labrador mio-geosyncline near Schefferville, Québec. — *Geol. Surv. Can.*, Paper, no. 70-37, 34 p.
- LEWIS, J.S., 1977. Active layer depths and supra-permafrost groundwater in a small subarctic catchment, Schefferville, Québec. — M. Sc. thesis, McGill Univ., Montréal, 160 p.
- MARSH, P., W.R. ROUSE & M.-K. WOO, 1980. Evaporation at a high arctic site. — *J. appl. Met.*, 19: 734-739.
- McGAW, R.W., S.I. OUTCALT & E. NG, 1978. Thermal properties and regime of wet tundra soils at Barrow, Alaska. — Pages 47-53 in *Proc. Third int. Conf. on Permafrost*, Nat. Research Council, Ottawa, 947 p.
- NICHOLSON, F.H., 1978. Permafrost distribution and characteristics near Schefferville. — Pages 427-433 in *Proc. Third int. Conf. on Permafrost*, Ottawa, 947 p.
- NICHOLSON, F.H. & H.B. GRANBERG, 1973. Permafrost and snowcover relationships near Schefferville. — Pages 151-158 in *Permafrost, North American Cont. to 2nd int. Conf.*, Washington, D.C., 712 p.
- PRIESTLEY, C.H.B. & R.J. TAYLOR, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. — *Mon. Weath. Rev. U.S. Dept. Agric.*, 100: 81-92.
- ROUSE, W.R. & R.B. STEWART, 1972. A simple model for determining evaporation from high-latitude upland sites. — *J. appl. Met.*, 11: 1063-1070.
- ROUSE, W.R., P.F. MILLS & R.B. STEWART, 1977. Evaporation in high latitudes. — *Water Resour. Res.*, 13: 909-914.
- STEWART, R.B. & W.R. ROUSE, 1976. Simple models for calculating evaporation from wet and dry surfaces. — *Arct. Alp. Res.*, 8: 263-274.
- WILLIAMS, P.J., 1976. Hydraulic conductivity in frozen soils. — *Earth Surface Processes*, 1: 349-360.
- WRIGHT, R.K., 1980. The water balance of a lichen tundra underlain by permafrost. — Ph.D. thesis, McGill Univ., Montréal, 235 p. [also in press as McGill Subarctic Research Paper, no. 33, 1981].



Sols  
*Soils*





## THE SALINITY CYCLE OF A SUBARCTIC SALT MARSH

W.A. GLOOSCHENKO

*Ecological Impact Section, Aquatic Ecology Division  
National Water Research Institute, P.O. Box 5050  
Burlington, Ontario L7R 4A6*

and

K. CLARKE

*Department of Land Resource Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1*

### Résumé

La salinité du substrat est un paramètre important de la répartition des plantes dans un marais salant. Dans ceux des régions tempérées, les variables liées à la salinité présentent un cycle bien défini, mais il n'y aucune étude sur la salinité du sol pour les marais subarctiques. Notre recherche fut menée sur la côte sud-ouest de la baie James, en Ontario. Les mesures suivantes furent effectuées: la conductivité, le  $\text{Ca}^{++}$ , le  $\text{Mg}^{++}$ , le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{K}^+$  solubles; les ions échangeables  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ , ainsi que la capacité d'échange cationique.

Dans l'ensemble, la conductivité et les cations solubles diminuent de juin à août dans toutes les parties du marais salant, mais moins dans les parties basses plus exposées à l'immersion par la marée. Le  $\text{Na}^+$  échangeable diminue, mais non le  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{K}^+$ . La capacité d'échange cationique varie dans le temps selon le site. Ces tendances, différentes de celles que l'on connaît pour les régions tempérées, peuvent être expliquées par le climat estival humide et frais. Les houles du printemps et de l'automne sont aussi des facteurs importants.

### Abstract

Substrate salinity is an important parameter affecting the distribution of plant species in a salt marsh. Salinity-related variables exhibit a well-defined cycle in temperate salt marshes, however there are no studies on soil salinity for subarctic salt marshes. The following study was conducted in a salt marsh located on the southwestern coast of James Bay, Ontario. Saturation paste extracts were made and the following salinity-related variables measured: conductivity, soluble  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{K}^+$ , and exchangeable  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{K}^+$ . Cation exchange capacity was also measured.

In general, conductivity and soluble cations decreased in concentration from June to August, 1977, in all five salt marsh zones, with the least amount of decrease occurring in lower zones subjected to frequent tidal inundation. Exchangeable  $\text{Na}^+$  decreased, while  $\text{Mg}^{++}$  and  $\text{K}^+$  remained fairly constant. Cation exchange capacity was variable with time depending upon the zone. Such trends were opposite to those reported for temperate salt marsh salinity cycles and may be due to a relatively cool, wet summer climate. Spring/fall storm surges were also found to be important factors affecting soil salinity.

### Introduction

Coastal salt marshes are ecosystems located on land bordering brackish or saline waters subjected to tidal inundation. The vegetation of these marshes thus must be

able to tolerate certain conditions, most obviously that of increased substrate salinity. However, the salinity of soils or sediments in salt marshes is variable, affected by such factors as the amount of tidal flooding, freshwater leaching via precipitation or land

run-off, and rates of evaporation (Chapman, 1974). Previous studies on salt marshes have generally shown an increase of salinity during the summer and early fall due to evaporation processes (Mall, 1969; Tyler, 1971; Mahall & Park, 1976; Hackney & de la Cruz, 1978).

The purpose of the following study was to determine the nature of the salinity cycle in a subarctic salt marsh located on the southwestern shore of James Bay. Emphasis was placed on gaining a better understanding of the relationship between soil salinity and the distribution of important salt marsh plant species.

### Materials and methods

The study site was a salt marsh located at North Point, Ontario, on the southwestern shore of James Bay, 51°29' N, 80°27' W (Fig. 1). This marsh was selected as it is the site of an intensive Canadian Wildlife Service bird-banding and shorebird ecology research program. Previous studies at North Point include those on above-ground biomass of vegetation (Glooschenko, 1978), physical and geological processes (Glooschenko & Martini, 1978), geochemistry (Glooschenko & Capobianco, 1980) and geomorphology, sedimentology and soils (Martini & Protz, 1978).

The site was visited on June 15, July 13, August 8 and 15, 1977, as part of a study on

primary productivity (Glooschenko & Harper, in press). Sampling was done in zones 1, 2, 5, 7, and 8 (Fig. 1). From each zone, five soil samples were randomly collected to a depth of 15 cm which approximates the root zone for most plant species; these samples were collected using a hand trowel. Samples in plastic bags were shipped by air freight to the laboratory within two days of collection. Upon arrival, samples were frozen, and prior to analysis were thawed, air-dried, and sieved through a 2 mm sieve.

Conductivity was determined in saturation paste extracts made according to Richards (1954). Soluble  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , and  $\text{K}^+$  were determined using atomic absorption spectrometry,  $\text{Na}^+$  by flame photometry, and cation exchange capacity using the sodium acetate method described in Richards (1954). The exchangeable cations  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  were analyzed using 1.0 N  $\text{NH}_4\text{Ac}$  adjusted to pH 7.0. Exchangeable  $\text{Ca}^{++}$  was not determined owing to the calcareous nature of the soils and problems with release of  $\text{Ca}^{++}$  (Hesse, 1971). Texture was not determined, however, Glooschenko & Capobianco (1980) determined such soils were silts.

### Results

The numerical data collected in this study in terms of zone, sampling date, mean concentration in a given zone on a particular

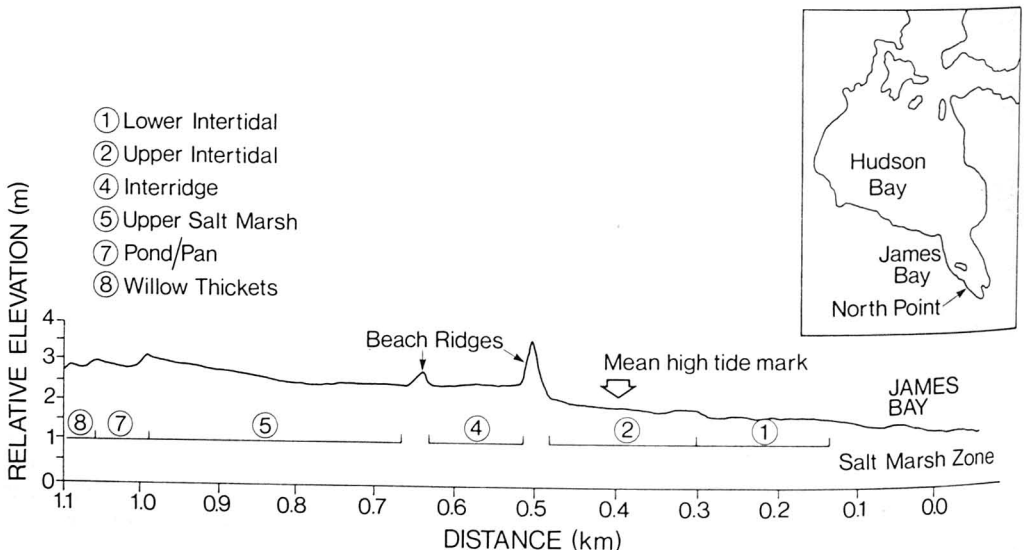


Figure 1. Profile of North Point salt marsh with vegetation zones. Zone 4 omitted in this study.

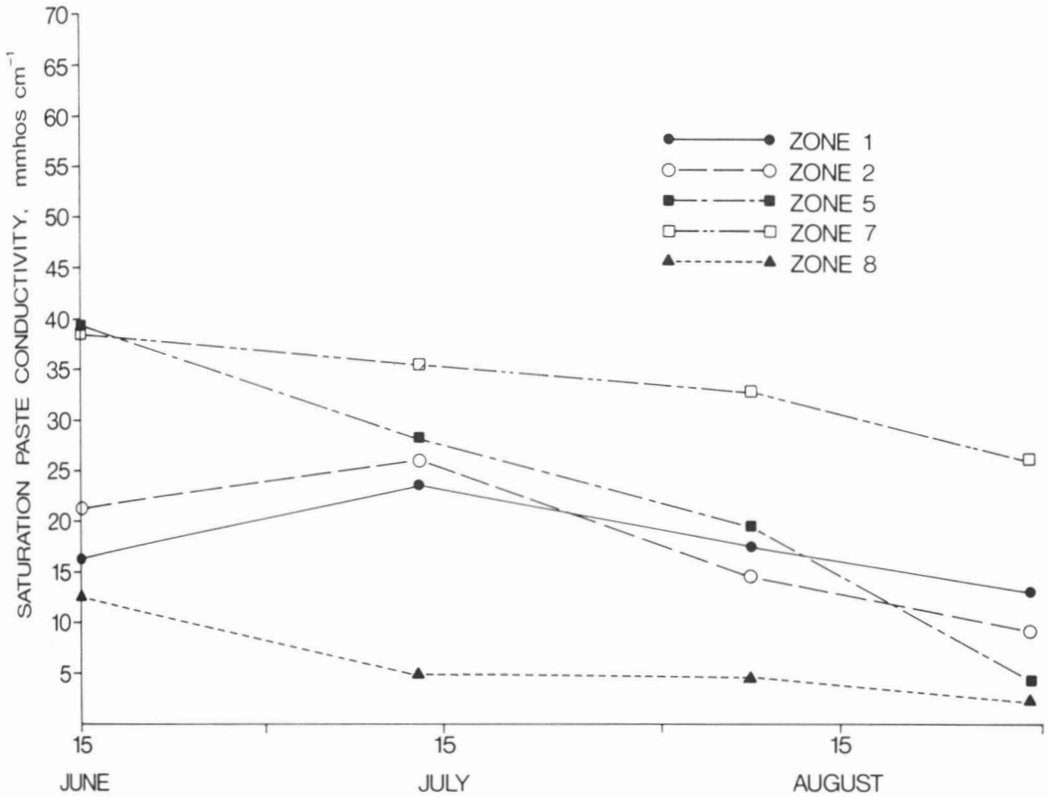


Figure 2. Saturation paste conductivity vs zone and time.

date and standard deviation are available in report form (Glooschenko & Clarke, 1980).

Figure 2 presents saturation paste extract conductivity. Highest conductivities were found initially on the 15<sup>th</sup> of June sampling date in zone 7, followed by zone 5, while lowest conductivities were measured in zone 8. This latter zone is farthest from the James Bay shoreline and receives saline water input only during autumn storm surges before freeze-up. Zone 8 has relatively few true salt-marsh species (Glooschenko, 1978; Glooschenko & Martini, 1978; Glooschenko & Harper, in press). Zone 7 is characterized by the presence of many pans, shallow depressions in which water is trapped and evaporates leading to high salinities. Previous unpublished studies by the authors indicated soil salinities in such pans are up to three times higher than adjacent to the pan. In fact, the only plant species that grows in those pans is *Salicornia europaea*, a very salt-tolerant species. Zone 1 receives continuous inputs of tidal waters, while zone 2

is inundated only during relatively higher spring tides. Thus, less evaporation occurs and moderate soil salinities are found. Zone 5 had higher salinities in June than in August, probably due to trapping of autumn storm surge waters and subsequent evaporation similar to zone 7. In all zones, a decrease of soil salinity was noted during the late summer with quite low values by August 30 as a result of leaching of salts below the root zone following high precipitation.

Soluble  $\text{Na}^+$  (Fig. 3) followed the trend of conductivity, except for zone 7 in which  $\text{Na}^+$  remained fairly constant. Soluble  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{++}$  followed similar trends with highest values occurring initially in zones 5 and 7, followed by a decrease in concentration least noticeable in zone 7; concentrations in zones 1 and 2 did not decrease as much as those in the upper zones of the marsh. This trend was also noticed for  $\text{Ca}^{++}$ . Higher variability for all soluble cations in zone 7 was observed as indicated by higher values of standard deviation.

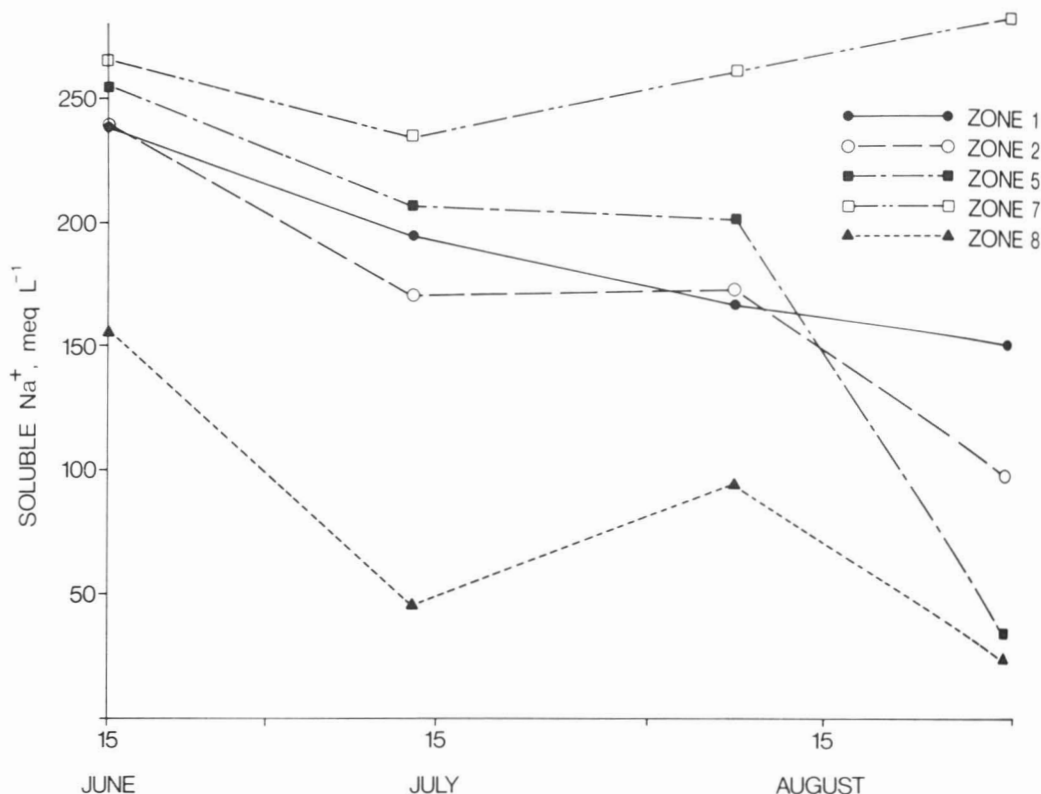


Figure 3. Soluble Na<sup>+</sup> concentration vs zone and time.

Cation exchange capacity (CEC) data are presented in Figure 4. In general, values were somewhat low, and increased with increasing salt marsh elevation. Such an increase is to be expected as organic matter content also increased with age of the salt marsh soils (Glooschenko & Capobianco, 1980). Since clay content is quite low, organic matter may account for the majority of the CEC of these salt marsh soils. The CEC of soils of zones 2 and 5 remained relatively constant with time; however zone 1 CEC decreased, and increases in CEC were noted in zones 7 and 8. These trends, except in zone 1, followed the changes in plant litter (Glooschenko & Harper, in press). Over the same period, litter remained fairly constant in zone 5, and increased slightly in zones 2, 7, and 8. The effect of these changes upon the CEC of these soils remains speculative.

Exchangeable sodium is of interest owing to its effects upon both plant growth and soil structure. Figure 5 represents Na<sup>+</sup> data; a similar trend was found to soluble Na<sup>+</sup>, with highest exchangeable Na<sup>+</sup> concentra-

tions in zone 7, followed by zones 1 and 2. However, decreases took place in all zones. This is more easily seen through calculation of the exchangeable sodium percentage (ESP). In general, ESP values greater than 15% have been considered deleterious to plant growth (except for some species) and soil structure (Richards, 1954). In our data, ESP values greater than 15% generally occurred in all zones (zone 8 was borderline with 18.7% initially) but dropped below 15% by mid-late August except in zone 7 (Fig. 6). Exchangeable K<sup>+</sup> remained fairly constant with similar values in all zones, and exchangeable Mg<sup>++</sup> also remained fairly constant in all zones except for elevated values in zone 7.

## Discussion

Salinity has been considered to be a major factor affecting the distribution of plant species in salt marsh ecosystems (Adams, 1963; Chapman, 1974; Mahall & Park, 1976; Mendelsohn & Marcellus, 1976; Nestler, 1977; Smart & Barko, 1978). How-

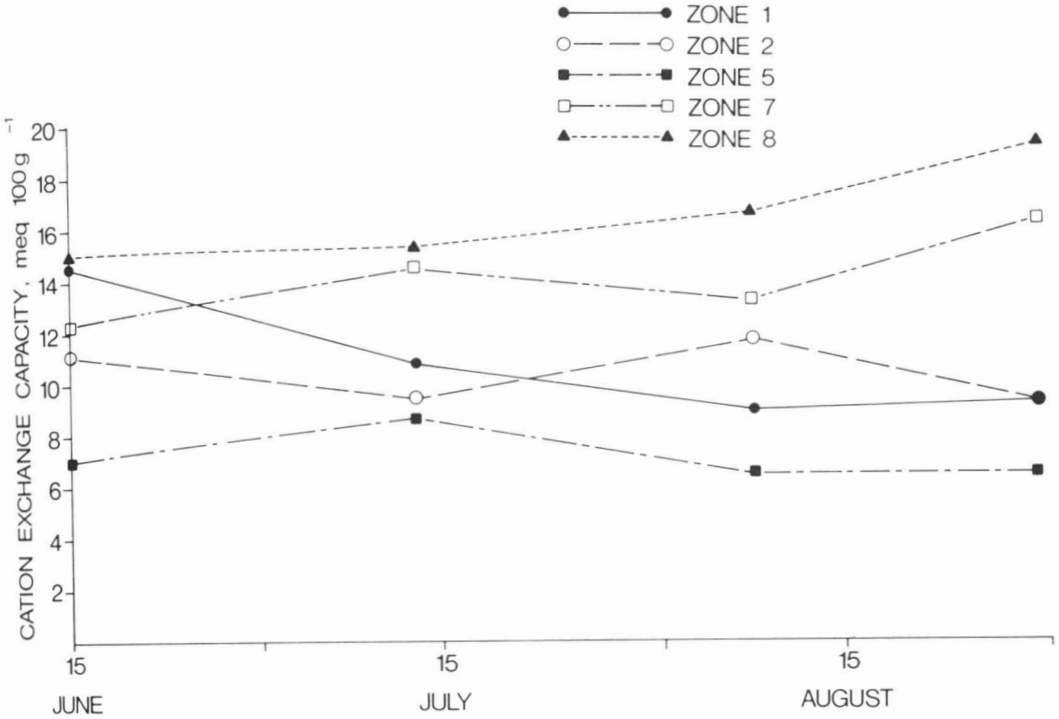


Figure 4. Cation exchange capacity vs zone and time.

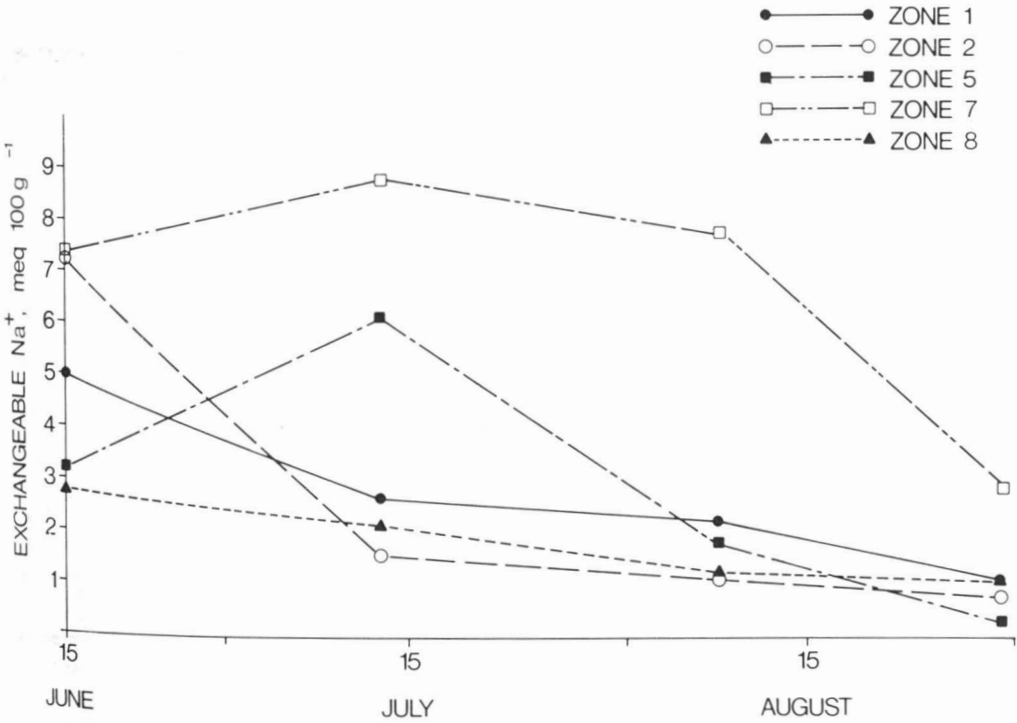


Figure 5. Exchangeable Na<sup>+</sup> concentration vs zone and time.

ever, attempts to correlate plant occurrence or growth to soil salinity directly have not proven successful since most salt marsh species show a range of tolerance to salinity (Barbour, 1970). Researchers have often attempted such correlations based upon one soil sampling period. A single sampling period, however, would have lead to erroneous conclusions in the present study. For example, if soils were sampled for salinity analysis in zone 5 only in late August, one might conclude this area was non-saline based upon the usual  $4 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1}$  conductivity criteria. Although zone 5 conductivities were less than half of other zones (except 8), many of the species there were quite common to zones 1, 2 and 7 (Glooschenko & Harper, in press).

However, in mid-June, conductivities in zone 5 soils were quite high. Plants growing in zone 5 initially would germinate and begin vegetative growth under fairly saline conditions, yet end up growing in an environment that would be almost considered non-saline under existing criteria. Unfortunately,

no studies have been made on salinity tolerance of the subarctic salt marsh plant species encountered at North Point and such work is essential to understand the ecological distribution of such species. Other important soil variables would include nutrient and moisture status, both of which merit further study; both of these are variable from year to year.

The salinity cycle at North Point is the opposite of that found in other studies, that is, salinity-related variables decrease in concentration during the summer. As previously mentioned, most salt marshes exhibit increased salinity due to evaporation during the summer (Mall, 1969; Tyler, 1971; Mahall & Park, 1976; Hackney & de la Cruz, 1978; Subrahmanyam & Coultas, 1980). The salinity cycle at the North Point salt marsh must be deduced both from actual measurements as reported in this study, and observations in the field. Unfortunately, due to the remoteness of the area, the site was visited only between mid-May and late August 1977. In mid-May, the thaw had just begun. Ice still

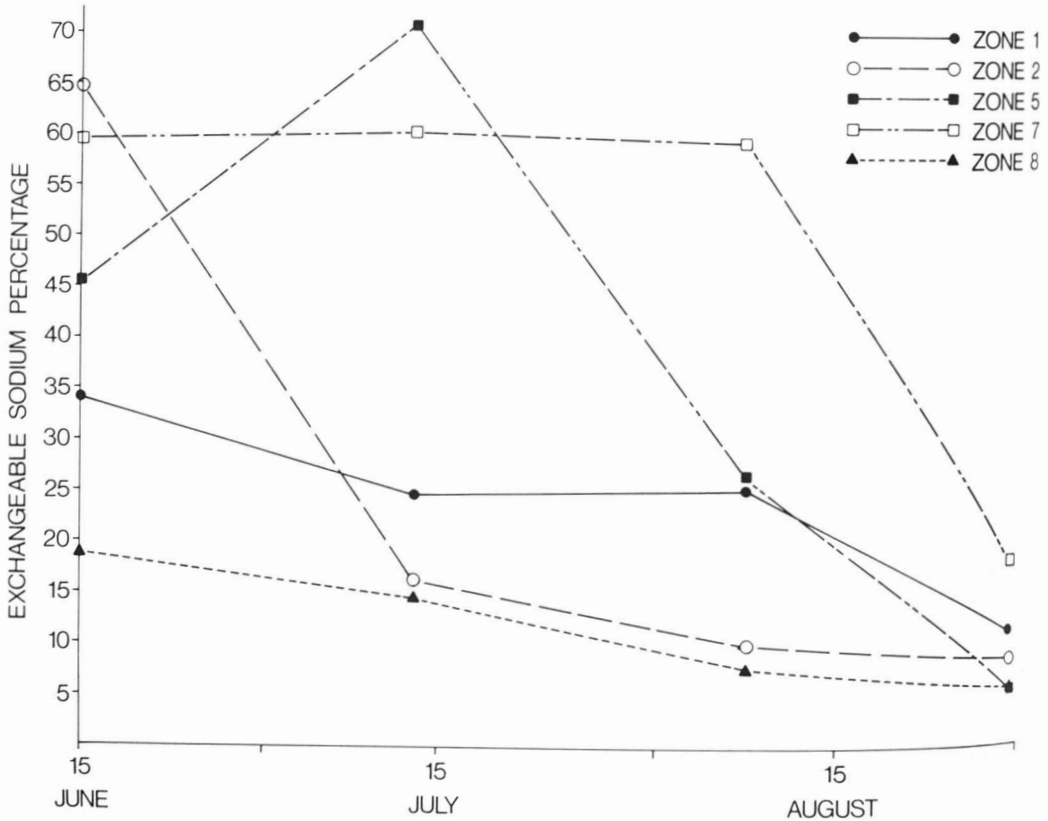


Figure 6. Exchangeable Na<sup>+</sup> percentage (ESP) vs zone and time.

covered most of zone 1, and the rest of the marsh through zone 8 was occupied by standing water in depressions with some seaward flow through shallow creeks. In the willows of zone 8, litter of dead eelgrass, *Zostera marina*, was found in shrubs and driftwood had been moved landward compared to 1976 (Glooschenko, 1978). This observation would imply that storm surges had transported large volumes of saline water up to 1 km inland in the previous autumn before freeze-up of James Bay. Since the soils would freeze before the Bay, salt water probably sat in depressions. In the spring (early May) after thawing of soils, such saline waters would percolate into the soils and the initial higher soil salinities would occur. No major late spring or summer storms occurred in 1977 hence no new input of salts occurred. Yet, 1977 was characterized by a relatively wet and cool summer. For example, precipitation for Moosonee, some 27 km away, for June 1977 was 84.4 mm, July, 82.4 mm, and August, 125.3 mm which was 149% above normal (Anonymous, 1977). This rainfall could cause leaching of salts down into the marsh soils out of the root zone. Then, autumn storms would replenish salts in the soil. Thus contrary to other salt marshes, summer leaching of salts out of the surface soil had to occur in order to explain the observed cycle. Subsurface freshwater flows have been observed in salt marshes (Lindberg & Harriss, 1973) which could then remove salts seaward. Hydrological investigations of the North Point salt marsh, including salt budgets, are required to resolve the fate of salt removed from surficial soils and sediments.

### Acknowledgments

The authors would like to thank R.I.G. Morrison of the Canadian Wildlife Service for his hospitality and support at the North Point bird-banding station. The laboratory assistance of T. Mayer and M. Gregory is acknowledged. Assistance in field sampling was provided by R. Sims, T. Mayer, and L. Fay. We also wish to thank N. Snelling for typing this manuscript.

### References

- ADAMS, D.A., 1963. Factors influencing vascular plant zonation in North Carolina salt marshes. — *Ecology*, 44: 445-456.
- ANONYMOUS, 1977. Monthly record. Meteorological observations in eastern Canada. — *Atm. Env. Serv.*, Fish. Env. Canada., 62 p.
- BARBOUR, M.G., 1970. Is any angiosperm an obligate halophyte? — *Am. Midl. Nat.*, 84: 105-120.
- CHAPMAN, V.J., 1974. Salt marshes and salt deserts of the world. — J. Cramer, Germany, 392 p.
- GLOOSCHENKO, W.A., 1978. Above-ground biomass of vascular plants in a subarctic James Bay salt marsh. — *Can. Fid Nat.*, 92: 30-37.
- GLOOSCHENKO, W.A. & J.A. CAPOBIANCO, 1980. Geochemistry of subarctic salt marsh. — *Mar. Geol.*, 37: 231-240.
- GLOOSCHENKO, W.A. & K. CLARKE, 1980. The salinity cycle of a subarctic salt marsh. — *Env. Canada. Canada Centre for Inland Waters. Unpublished Rep.*, 22 p.
- GLOOSCHENKO, W.A. & N.S. HARPER (in press). Net aerial primary productivity of a James Bay, Ontario, salt marsh. — *Can. J. Bot.*
- GLOOSCHENKO, W.A. & I.P. MARTINI, 1978. Hudson Bay lowlands baseline study. Coastal Zone 1978. — Pages 363-369 in *Proc. Symp. on Tech., Env., Socioeconomic and Regulatory Aspects of Coastal Zone Man. Am. Soc. Civil Eng.*, San Francisco, Calif., 3091 p.
- HACKNEY, C.T. & A.A. DE LA CRUZ, 1978. Changes in interstitial water salinity of a Mississippi tidal marsh. — *Estuaries*, 1: 185-188.
- HESSE, P.R., 1971. A textbook of soil chemical analysis. — Chem. Publ. Co., New York, 520 p.
- LINDBERG, S.E. & R.C. HARRISS, 1973. Mechanisms controlling pore water salinities in a salt marsh. — *Limnol. Oceanogr.*, 18: 788-791.
- MAHALL, B.E. & R.B. PARK, 1976. The ecotone between *Spartina foliosa* and *Salicornia virginica* L. in salt marshes of northern San Francisco Bay. II. Soil water and salinity. — *J. Ecol.*, 64: 793-809.
- MALL, R.E., 1969. Soil-water-salt relationships of waterfowl food plants in the Suisun Marsh of California. — *Calif. Dept. Fish. Game, Wildlife Bull.* no. 1, 59 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1978. Coastal geomorphology, sedimentology, and pedology of southern James Bay, Ontario, Canada. — *Dept. Land Resources Sci., Univ. Guelph, Ont., Tech. Memo.* no. 78-1, 316 p.
- MENDELSSOHN, I.A. & K.L. MARCELLUS, 1976. Angiosperm production of three Virginia marshes in various salinity and soil nutrient regimes. — *Chesapeake Sci.*, 17: 15-23.
- NESTLER, J., 1977. Interstitial salinity as a cause of ecophenic variation in *Spartina alterniflora*. — *Estuar. Coastal mar. Sci.*, 5: 707-714.
- RICHARDS, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. — *Agric. Handbook* no. 670, U.S. Dept. Agr., 160 p.
- SMART, R.M. & J.W. BARKO, 1978. — Influence of sediment salinity and nutrients on the

- physiological ecology of selected salt marsh plants. — *Estuar. Coastal mar. Sci.*, 7: 487-495.
- SUBRAHMANYAM, C.B. & C.L. COULTAS, 1980. Studies on the animal communities in two north Florida saltmarshes. Pt. 3. Seasonal fluctuations of fish and macroinvertebrates. — *Bull. mar. Sci.*, 30: 790-818.
- TYLER, G., 1971. Hydrology and salinity of Baltic sea-shore meadows. Studies in the ecology of Baltic sea-shore meadows. III. — *Oikos*, 22: 1-20.



## DEVELOPMENT OF GLEYSOLIC SOILS IN THE HUDSON AND JAMES BAY COASTAL ZONE, ONTARIO

R. PROTZ

*Department of Land Resource Science, University of Guelph  
Guelph, Ontario N1G 2W1*

### Résumé

L'auteur a échantillonné 130 profils de sol sur des transects orthogonaux, le long des marais côtiers des baies James et d'Hudson. Les transects représentent tous les types possibles d'unités géomorphologiques de la côte, et les profils de sols des zones végétales importantes de chaque transect.

Les échantillons de sols ont été prélevés à chaque horizon ou couche sédimentaire. Pour la plupart des horizons, on a déterminé la granulométrie, le contenu en matière organique, le pH, l'équivalent  $\text{CaCO}_3$ , la conductivité et le Na-pyrophosphate Fe, l'Al et le Mn. Pour certains profils de chaque transect, on a analysé la composition minérale de l'argile. Sur deux horizons de chaque profil des marais de la baie James on a déterminé le Si, Al, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Na, K, P et S; sur d'autres, K, P, Ca et Mg. Enfin, sur certains transects, le  $\text{Cl}^-$  soluble,  $\text{NO}_3^-$ , Ca, Mg, K et Na.

L'auteur émet des hypothèses sur la colonisation par la végétation et les stades initiaux de pédogenèse et suggère une classification de ces sols.

### Abstract

One hundred and thirty soil profiles were sampled along surveyed transects orthogonal to the coast from Hudson Bay and James Bay coastal marshes. The transects represented the complete range of geomorphological units present in the coastal zone. Soil profiles were sampled from the major vegetative zones on each transect.

Bulk soil samples were collected by horizon and/or sedimentary layer. Particle size distribution, organic matter content, pH,  $\text{CaCO}_3$  equivalent, electrical conductivity and Na-pyrophosphate Fe, Al, and Mn were determined for most horizons of each profile. Clay mineralogy was determined on selected soil profiles from each transect. On two horizons from each soil profile within the James Bay area, total elemental Si, Al, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Na, K, P and S were determined. Soil test K, P, Ca and Mg were also determined on selected horizons from each soil profile. On selected transects water soluble  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Ca, Mg, K, Na were determined.

Concepts of vegetative colonization and initial pedogenetic processes are developed. Suggestions on the classification of these soils are made.

### Introduction

The gleysolic soils of the Hudson and James Bay, Ontario coasts have not previously been extensively studied. During the 1976-1980 field seasons, an integrated sedimentological, pedological, vegetation, and shorebird study was carried out on transects selected to represent the various geomorphological and vegetative zones along the coasts. This integrated study provided an opportunity to sample soil

profiles for a more detailed characterization for classification and genesis research.

The purposes of this paper are 1) to present a general overview of the gleysolic soil development in the Hudson and James Bay, Ontario coastal zone, 2) to suggest criteria for the classification of these soils, 3) to make some suggestions for the revision of the soil map of northern Ontario and 4) to make some suggestions on the use of these soils.

## Materials and methods

### SOIL PROFILE SELECTION AND FIELD PROCEDURES

The locations of the transects and soil pit sites are shown in Figure 1. The transects were selected to represent the major geomorphological and sedimentological areas on the Hudson Bay and James Bay coasts. Within each transect major vegetative zones were defined and within each zone at least four profiles were sampled to determine the degree of horizonation. A small pit (45 cm × 60 cm × 100 cm depth, the water table permitting) was dug at a representative site. Water had to be bailed out of many pits during sampling of the soil profiles. Soil temperatures were recorded immediately after the pit was opened using metal thermometers pushed at least 10 cm into the wall of the soil pit at 1, 5, 20 and 50 cm

depths. Bulk soil samples of the major horizons and/or sedimentary layers were placed in air-tight plastic bags. Undisturbed samples of the major horizons were collected for micropedological studies. Bulk density samples (in triplicate) of major horizons were collected using 100 cc stainless steel rings. Photographs were taken of the soil profile, site and vegetation.

Within two weeks of returning from the field, the soils were described in the laboratory. Only the surface 2 mm of the soil sample were slightly oxidized within the air tight plastic bags, between the time of sampling and the time of making a description.

### LABORATORY ANALYSES

The particle size distribution, organic matter, pH, CaCO<sub>3</sub> equivalent, electrical

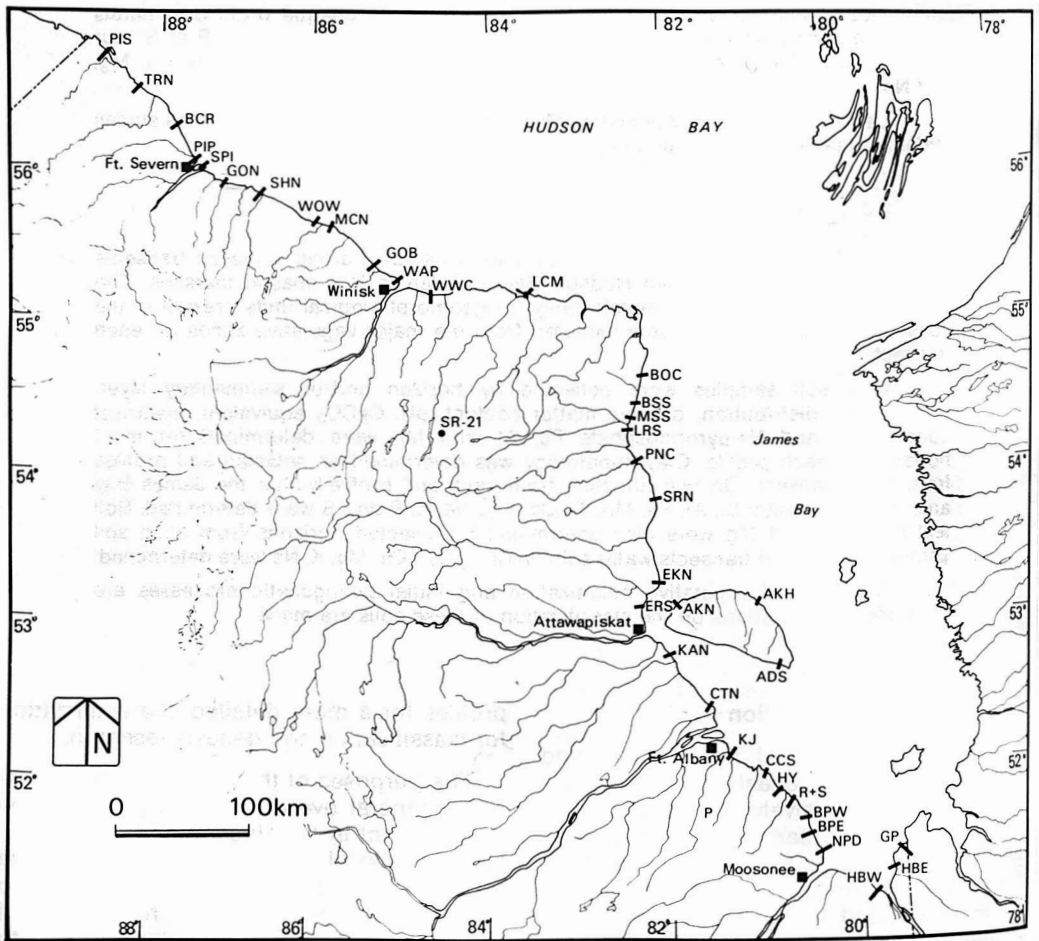


Figure 1. Location of transects and individual soil pits within the Hudson and James Bay coastal zone.

conductivity, pyrophosphate extractable Fe, Al and Mn analyses were made following procedures outlined by McKeague (1978). Clay minerals were characterized by X-ray diffraction analysis of CaCO<sub>3</sub> and organic matter-free clays. Total chemical analyses were made by X-ray fluorescence, on ground pelletized samples of the < 2 mm fraction. Plant available K, Mg and Ca were determined by atomic absorption following extraction by 1N ammonium acetate. Plant available P was determined by extraction with 0.5 M sodium bicarbonate. Water soluble Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> were measured by autoanalyzer procedures and water-soluble Na, K, Mg and Ca were determined by atomic absorption. Impregnation of undisturbed samples followed procedures outlined in McCarrick & Protz (1978).

**Results and discussion**

SOIL FORMING FACTORS

*Topography* — Slopes are gentle. The coastal uplift rate is about 1 m per 100 years. Detailed topographic characteristics of each transect were collected and are reported in four technical reports of the sedimentological, geomorphological and pedological studies (Martini & Protz, 1978, 1980, 1981; Martini *et al.*, 1979).

*Parent materials* — The parent materials are calcareous, and are a result of the bedrock (Norris & Sanford, 1968), proximity to river mouths, and dispersed by currents in the bays. They range from uniform silty deposits, to those with highly stratified textures, to compacted tills. The magnitude of soil variability is depicted by the range in total elemental Si, Al, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, K, Na, P

TABLE I

Minimum, average and maximum amounts of Si, Al, Fe, Mn and Ti in the < 2 mm fraction in two selected horizons of 63 gleysolic soil profiles from the James Bay/Ontario coastal zone.

Horizon		Si	Al	Fe	Mn	Ti
		(% oxide)				
A	Minimum	17.61	6.18	1.52	0.00	0.21
	Average	41.34	8.09	2.87	0.05	0.41
	Maximum	75.40	14.55	4.33	0.23	0.89
C	Minimum	25.60	5.09	0.74	0.00	0.13
	Average	45.83	7.66	2.66	0.04	0.44
	Maximum	70.35	10.88	5.48	0.08	0.53

and S (Tables I, II) of selected A and C horizons.

*Climate* — There are essentially no data on the meso-climates of the coastal zone. However, projected isohyets and isotherms published by Chapman & Thomas (1968) indicate that the mean annual precipitation varies from 51 cm at the Manitoba border to 75 cm at the Québec border while mean daily temperature ranges from -5.5 °C on the Hudson Bay coast to -1.1 °C in the southern James Bay area. Although no detailed information is available, there could easily be a significant modification of these isohyets and isotherms due to influence of the water and ice in the bays.

TABLE II

Minimum, average and maximum amounts of Ca, Mg, K, Na, P and S in the <2 mm fraction in two selected horizons of 63 gleysolic soil profiles from the James Bay/Ontario coastal zone.

Horizon		Ca	Mg	K	Na	P	S
		(% oxide)					
A	Minimum	1.79	0.78	1.67	0.75	0.03	0.00
	Average	12.24	4.99	1.48	1.58	0.13	0.08
	Maximum	19.65	7.06	10.63	3.08	0.24	0.47
C	Minimum	2.41	0.80	1.47	0.02	0.04	0.00
	Average	13.46	5.26	2.22	1.72	0.11	0.06
	Maximum	26.25	5.56	4.22	3.12	0.32	0.35

*Vegetation* — There have been many studies characterizing the vegetation of the coastal zone. Some of the more recent studies include Glooschenko (1978), Sims *et al.* (1979), Riley & Mackay (1980), Riley (1981), and Ringius (1980). However, for the purposes of this paper, several broader vegetative sequences will suffice. *Puccinellia phryganodes* and *Hippuris tetraphylla* are the first colonizers of different sediments. These are followed by *Potentilla egedii* and *Carex subspathacea*. At slightly higher elevations *Festuca rubra* and *Juncus* spp. are dominant. These are followed by *Salix* spp. and mosses.

*Time* — The soils studied are less than 200 years old. This age is estimated from the general uplift rates, and measured elevations on each transect and on the recorded frequency of major storm events.

MAJOR CHARACTERISTICS OF THE SOILS

*Macromorphology* — The range of soil profile morphology is depicted by the profiles in

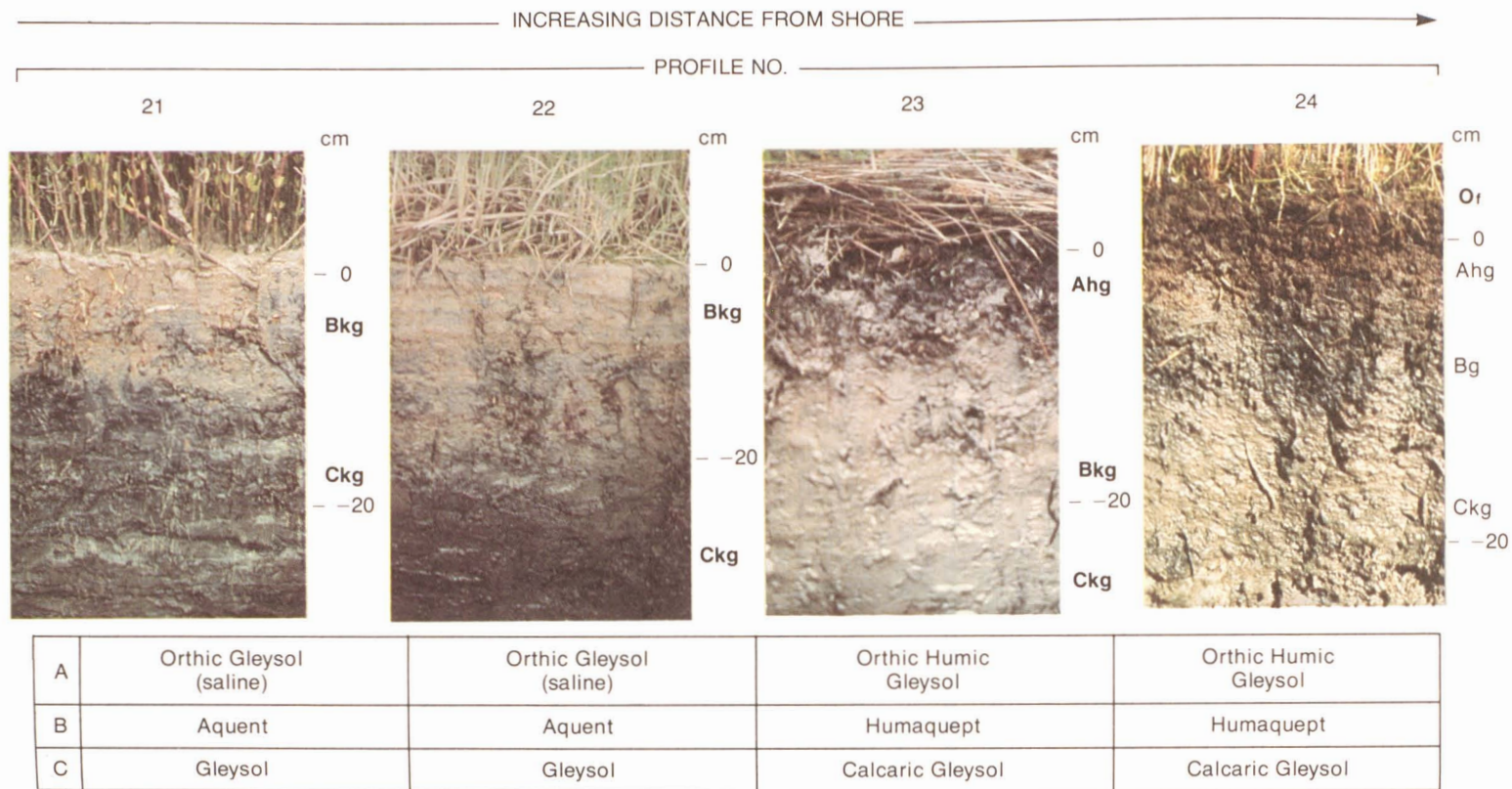


Figure 2. Representative sequence of soils developed in the marshes of Hudson and James Bay coastal zone [A-Canadian classification (Canadian Soil Survey Committee, 1978) B-Soil taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) and C-World (F.A.O.) Dudal, 1968].

Figure 2. The sedimentary structures are visible in the soils colonized by *Puccinellia* or *Hippuris* (Fig. 2, profile no. 21). These soils have black (2.5Y 2/0) colors when wet, with well developed reddish ferrans visible around the major roots. In soils inhabited by *Potentilla* and *Carex*, the sedimentological layering is not as evident (Fig. 2 profile no. 22). Soils with *Festuca* and *Juncus* vegetation have Ahg horizons and little evidence of the initial sedimentological layering. Soils developed under *Salix* spp. have surface accumulations of organic matter and less evidence of layering than the soils developing under *Festuca* and *Juncus*. The gleyed colors are grey and only occasionally are the 2.5Y 2/0 colors found at depth. Pedoturbation processes by roots and winter ice homogenize the sedimentological layering quite rapidly. The fine textured materials appear to be more mixed as viewed in thick and thin sections of undisturbed soil samples.

The most striking macromorphological feature of these soils is the color shift from 2.5Y 2/0 to 2.5Y 7/0 when wet to 2.5Y 7/0 or 2.5Y 8/0 when dry (Fig. 3). Generally, the surface horizons become less black as distance from the coast increases. Also, black (2.5Y 4/0) colors are found at greater depths in the soil profiles as distance from the coast increases. Under low Eh and high pH conditions the stable sulfur ion is  $\text{HS}^-$  (Boulegue, 1978). This is in agreement with the absence of  $\text{H}_2\text{S}$  odor in these soils. However, more work must be done on the chemistry of these soils.

**Organic matter** — During the deposition of parent materials, variable amounts of organic matter are accumulated. This organic material which originates from algae (*Fucus*) and eelgrass (*Zostera marina*) appears to oxidize within a short time as the soil profiles have uniform organic matter contents at depth. In most transects the 0-horizons up to 5 to 10 cm thick have accumulated in the *Salix* and *Juncus* vegetative zones.

The average Ch/Cf ratio was 1.31 in three Ah horizons of the gleysols from the Gull Point (GP) transect which is similar to Chernozems (Lowe, 1980). These soils also had low E465 extinction coefficient at 465 nm) values indicating very immature HA fractions.

**CaCO<sub>3</sub> content and pH** — The CaCO<sub>3</sub> equivalent ranged from 15-50%. However, within any one individual soil profile CaCO<sub>3</sub> content was fairly uniform. The variations in CaCO<sub>3</sub> are probably due to the nature of the parent

rock and particle size. The pH measurements ranged from 7.0 to 8.4. One lower surface pH value was measured just after spring thaw at North Point by Clarke *et al.* (1982). They speculate that very temporary acid reactions could develop in the isolated spots where seaweed had accumulated.

**Electrical conductivity and desalinization** — The highest electrical conductivities measured were 14.6 mmhos/cm on transect BSS and 13.5 mmhos/cm on transect PIS. These were associated with salt pan formation. In most other soils electrical conductivities were less than 4 mmhos/cm. Thus the desalinization process is quite rapid. Generally, electrical conductivity and salinity decrease as distance from the shore increases (Fig. 4). However, this decrease is complicated by the geomorphology on any one transect.

**Bulk densities** — The bulk densities of B and C horizons ranged from 1.5 to 1.8 g/cm<sup>3</sup>. The bulk densities of A horizons varied from 0.9 to 1.2 g/cm<sup>3</sup>. Water contents at time of sampling varied from 20 to 50%.

**Soil temperatures** — Generally the soil temperatures in gleysols were higher than temperatures of soils developed on storm ridges. Frost was present in soil profiles north of the SRN transect (Fig. 1), in those soils with a significant 0-horizon accumulation, but not yet inhabited by *Salix* spp.

**Clay mineralogy** — Kaolinite, illite, chlorite and vermiculite were present in most soil profiles as were quartz and feldspars. The variations in amounts of each in any one soil profile is probably due to the bedrock forming the parent materials. This conclusion is in agreement with data on Canadian soils (Kodama, 1979).

#### SOIL FERTILITY

Plant available P and K are inherently low in these soils (Tables III and IV). Plant available Mg increases in the A horizon presumably due to a slight amount of weathering. Plant available Ca and Mg probably correlate closely to the type of bedrock in the various areas.

The gleysolic soils further inland upon which some horticultural cropping might take place would require P and K fertilizers.

#### MINI-SEQUENCES

In several areas of the Hudson Bay coast (Transects PIP, WAP, WWC, LCM and AKH

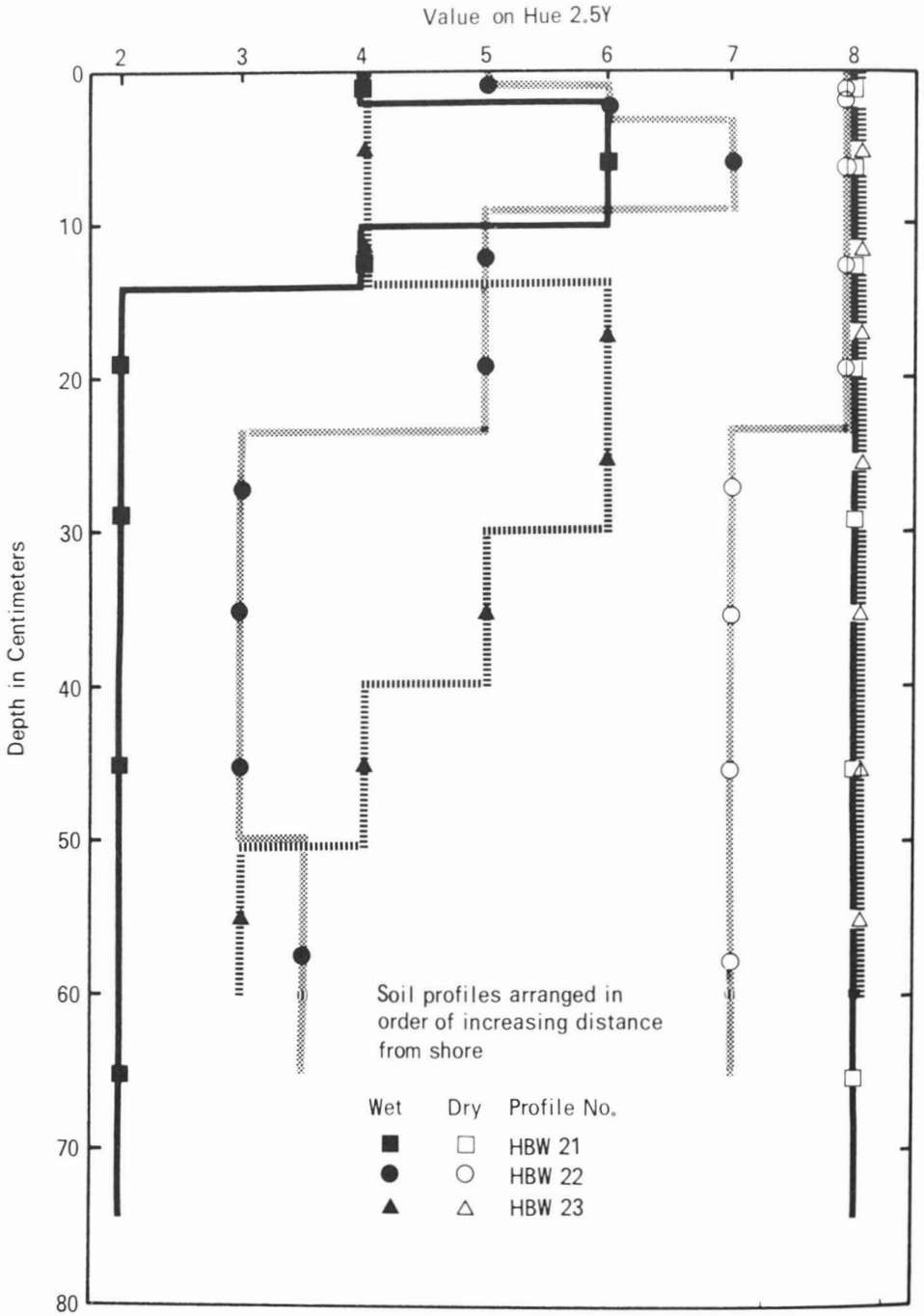


Figure 3. Hue 2.5Y soil color value distribution with depth in the gleysolic soils on the Hannah Bay West (HBW) transect.

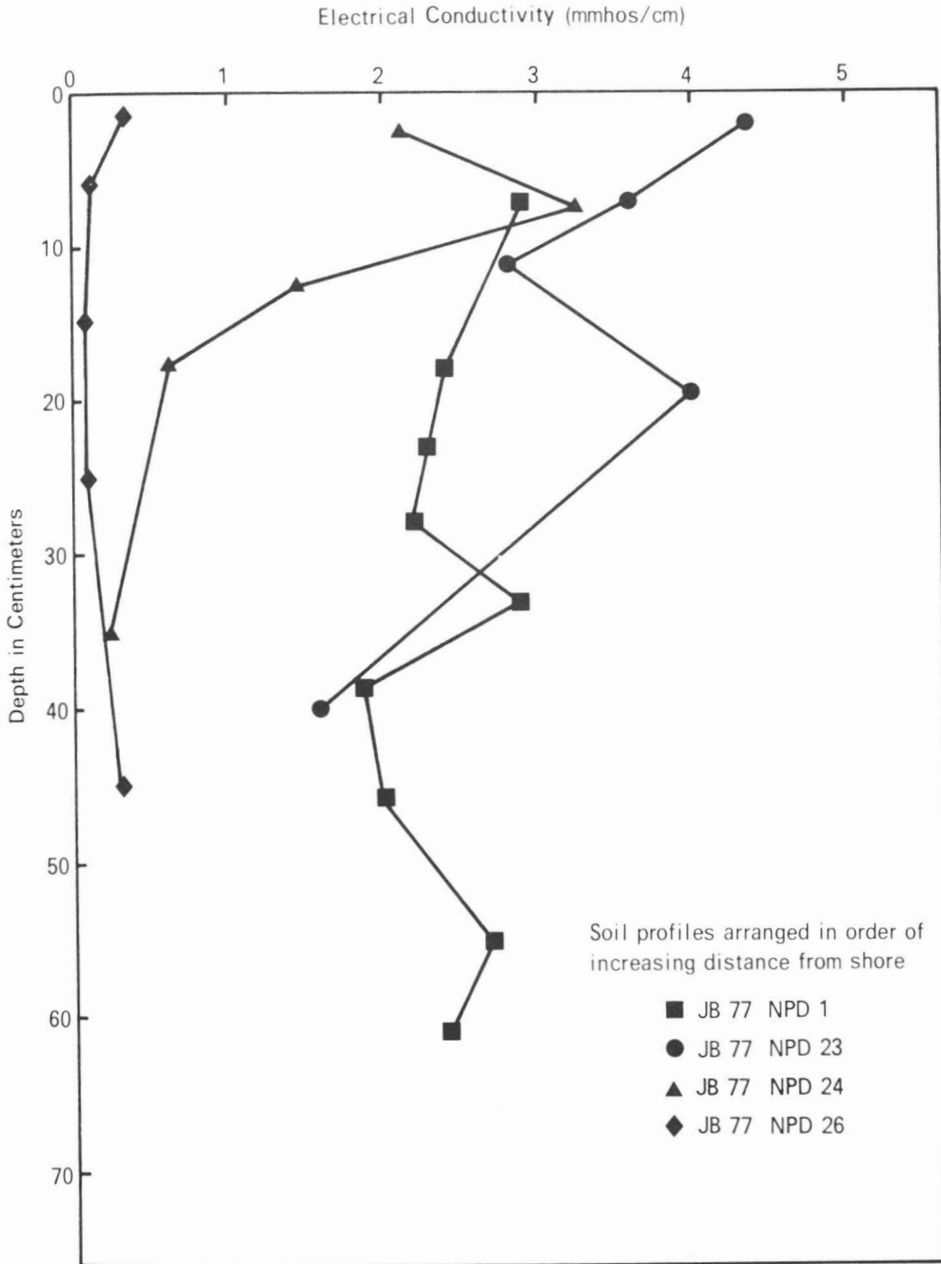


Figure 4. Electrical conductivity with depth in four gleysolic soil profiles from the North Point (NPD) transect.

on Akimiski Island), vegetative and soil mini-sequence similar in composition to the broad gleysolic soil sequences are present (Fig. 5). In each soil profile, there is a particle size fining upwards as indicated by silt content and a generally decreasing soluble salt content as indicated by  $Cl^-$  with small

changes in elevation (Fig. 5). This vertical decrease in soluble salts is modified by distance from tidal channels. On the WWC transects, it is possible that the vegetation in profiles 22 and 23 contributes to increased retention of salts as compared to profile 21 (Fig. 5).

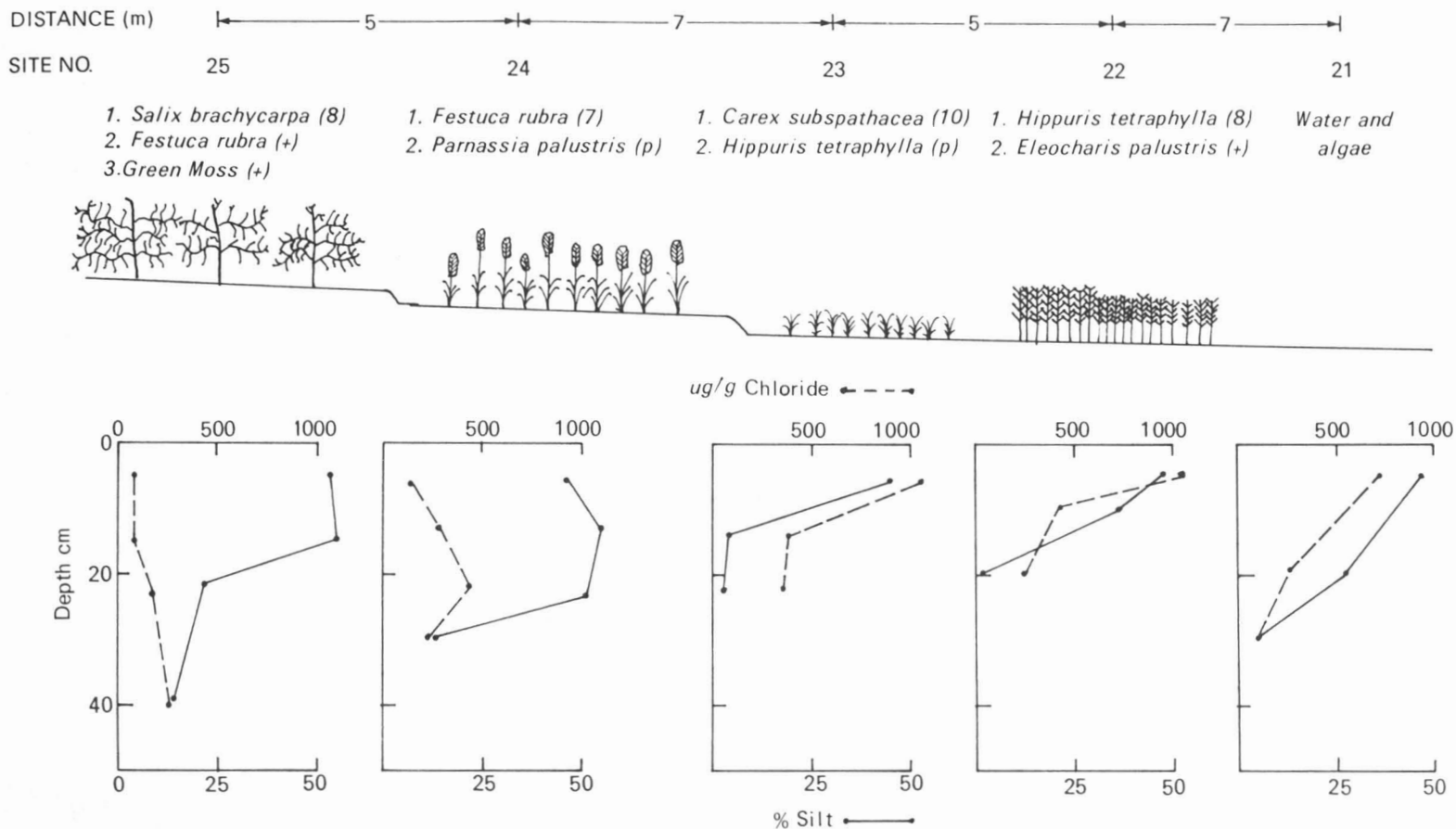


Figure 5. Mini-sequence of silt, water soluble chloride and vegetation at the West Wachi Creek (WWC) transect.



TABLE III

Minimum, average, and maximum amounts of plant available P, K, Mg and Ca in the <2 mm fraction in two selected horizons of 66 gleysolic soil profiles from the James Bay/Ontario coastal zone.

Horizon		P	K	Mg	Ca
A	Minimum	1	32	66	1400
	Average	13	340	548	3661
	Maximum	28	944	1248	4600
C	Minimum	1	16	47	2750
	Average	8	320	378	3432
	Maximum	30	600	896	4600

**Conclusion**

SOIL GENESIS

The accumulation of O-horizons starts within 200 years after the landmass emerges from the bay. Salinity decreases rapidly after uplift and is dependent upon the geomorphology of the area.

SOIL CLASSIFICATION AND MAP OF ONTARIO

The soil profiles nearest to the shore as represented by profiles 21 and 22 in Figure 2, lack an Ah or a Bt horizon, therefore they are classified into the gleysol great group in the Canadian system of soil classification. These soils also contain less than 2% organic carbon. They have a color value greater than 3.5 (moist) or greater than 5.0 (dry) as shown in Figure 3. The contrast in color value is greater than 1 unit between the surface and underlying layer even though the color value is less than 4 of the underlying layer. They do have a Bg horizon therefore they fit into the orthic gleysol subgroup.

The soil profiles further inland as represented by profiles 23 and 24 (Fig. 3) have Ah horizons at least 10 cm thick and no Bt horizons are classified into humic gleysols great group in the Canadian system of soil classification. The surface horizons generally contain more than 2% organic carbon. They do not meet the color criteria as they have color values greater than 3.5 (moist) and greater than 5.0 (dry) as indicated by profile 23 in Figure 3. However, the color contrast criteria (at least 1.5 units of color values (moist) lower than that of the next underlying

horizon if the color value (moist) of that horizon is 4 or more) is met in profile 23 in Figure 3 to the depth of 30 cm. These profiles have Ah and Bg horizons and they are classified as orthic humic gleysols at the subgroup level. It seems likely that new criteria can be developed using the color shift upon drying for separation of subgroups, and possibly at the great group level.

TABLE IV

Minimum, average and maximum amounts of plant available P, K, Mg and Ca in the <2 mm fraction in two selected horizons of 37 gleysolic soil profiles from the Hudson Bay/Ontario coastal zone.

Horizon		P	K	Mg	Ca
A	Minimum	1	24	69	2200
	Average	24	304	431	3711
	Maximum	49	760	800	7000
C	Minimum	1	24	50	2200
	Average	11	254	351	3403
	Maximum	57	608	800	6800

Gleysols also occur for several kilometres inland from the coasts. This strip of coastal gleysols does not appear upon the present soil map of Ontario (Acton & Gillespie, 1974) but they should appear on the next revision.

**Acknowledgments**

Walter Glooschenko of the National Water Resources Institute, for the total elemental analyses and help with the identification of vegetation. The laboratory of the Ontario Institute of Pedology for many of the soil analyses. Lawrence Lowe, Soil Science, University of British Columbia for the characterization of organic matter. To Andy McLellan for drafting figures and to Anne Slot for typing the manuscript. To Canadian Wildlife Service for infrastructure field support and to Harry Dale and Jim Crawford for the many safe helicopter trips. To D.S.S. contract no. 05479-00087, NSERC grant no. A3547 and O.M.A.F. Program 39 for financial support.

**References**

ACTON, C.J. & J.E. GILLESPIE, 1974. Soil resources of Ontario. — Univ. Guelph, Ontario, Notes on Agriculture, 10: 8-11.  
 BOULEGUE, J., 1978. Electrochemistry of reduced sulfur species in natural waters. I. The H<sub>2</sub>S-H<sub>2</sub>O system. — *Geochim. cosmochim. Acta*, 42: 1439-1445.

- CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE, 1978. The Canadian system of soil classification. — Res. Br., Canada Dept. Agric. Publ., no. 1646, 164 p.
- CHAPMAN, L.J. & M.K. THOMAS, 1968. The climate of northern Ontario. — Dept. Transport Met. Br., Toronto, Ontario. Climatological Studies, no. 6, 58 p.
- CLARKE, K.E., I.P. MARTINI & W.A. GLOOSCHENKO, 1982. Sedimentary characteristics of the coastal environment of North Point, Ontario. — *Naturaliste can.*, 109: 385-397.
- DUDAL, R., 1968. Definitions of soil units for the soil map of the world. — *World Soil Resources*, F.A.O.-U.N.E.S.C.O., Rep. no. 33, 72 p.
- GLOOSCHENKO, W.A., 1978. Above-ground biomass of vascular plants in a subarctic James Bay salt marsh. — *Can. Fld Nat.*, 92: 30-37.
- KODAMA, H., 1979. Clay minerals in Canadian soils: their origin, distribution and alteration. — *Can. J. Soil Sci.*, 59: 37-58.
- LOWE, L.E., 1980. Humus fraction ratios as means of discriminating between horizon types. — *Can. J. Soil Sci.*, 60: 219-229.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1978. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of southern James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo., no. 78-1, 316 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1980. Coastal geomorphology sedimentology and pedology of northern James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo., no. 80-1, 117 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1981. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of Hudson Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo., no. 81-1, 322 p.
- MARTINI, I.P., R. PROTZ, D. GRINHAM, W.A. KING & K.E. CLARKE, 1979. Studies of coastal sediments, soils and biota, James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo., no. 79-1, 290 p.
- McCARRICK, T. & R. PROTZ, 1978. The effects of soil composition upon three acrylic soil impregnating resins. — *Comm. Soil Sci. Pl. Analysis*, 9: 955-962.
- McKEAGUE, J.A. (ed.), 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. — Canadian Society of Soil Science, 212 p.
- NORRIS, A.W. & B.V. SANFORD, 1968. Paleozoic and Mesozoic geology of the Hudson Bay lowlands. — Pages 169-205 in P.J. Hood (ed.). Earth science symposium on Hudson Bay. *Geol. Surv. Can.*, Paper, no. 68-53, 386 p.
- RILEY, J.L., 1981. The flora and phytogeography of the Hudson Bay lowland. — M. Sc. thesis, Dept. of Botany, Univ. of Toronto, 436 p.
- RILEY, J.L. & S.M. McKAY, 1980. The vegetation and phytogeography of coastal southwestern James Bay. — *Contr. R. Ontario Mus.*, Life Sci., no. 124, 86 p.
- RINGIUS, G.S., 1980. Vegetation survey of a James Bay coastal marsh. — *Can. Fld Nat.*, 94: 110-120.
- SIMS, R.A., J.L. RILEY & J.K. JEGLUM, 1979. Vegetation, flora, and vegetational ecology of the Hudson Bay lowland, A literature review and annotated bibliography. — *Can. Forestry Service*, Dept. of Environment. Report no. 0-X-297, 177 p.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. — U.S.D.A. Handbook no. 435, Washington, U.S. Gov't Printing Office, 754 p.

## DEVELOPMENT OF PODZOLIC SOILS IN THE HUDSON AND JAMES BAY LOWLANDS, ONTARIO

R. PROTZ

*Department of Land Resource Science, University of Guelph  
Guelph, Ontario N1G 2W1*

### Résumé

On a échantillonné 63 profils de sol en coupes orthogonales provenant des dunes et des crêtes de tempête des basses-terres des baies James et d'Hudson. Les coupes ont été choisies afin de représenter les principaux ensembles lithologiques et végétaux des basses-terres. La variation du développement des crêtes de tempête est représentée par ces profils de sol.

On a prélevé des échantillons de sol à chaque horizon et(ou) couche sédimentaire pour chaque profil de sol. On en a fait l'analyse granulométrique et mesuré le pH, l'équivalent  $\text{CaCO}_3$ , la matière organique, le fer extrait du Na-pyrophosphate, l'Al et le Mn. Pour certains horizons, on a déterminé la teneur totale en Si, Al, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Na, K, P et S ; pour quelques autres, la teneur en K, P, Ca et Mg et la composition minérale de l'argile fut déterminée sur quelques profils de sol.

On présente des hypothèses sur la colonisation végétale et les conditions initiales d'altération. L'on fait enfin des suggestions sur la classification, la cartographie et sur l'utilisation de ces sols.

### Abstract

Sixty-three soil profiles were sampled from storm ridges and dunes in the Hudson and James Bay coastal lowlands. The soils were sampled along transects orthogonal to the coast. The transects were distributed to represent the major lithologic and/or vegetative units found on the coastal lowlands. The soil profiles represent the range of soil development expected on storm ridges in the lowlands.

At each soil profile site, bulk soil samples were collected by horizon and/or sedimentary layer. Particle size distribution, pH,  $\text{CaCO}_3$  equivalent, organic matter, Na-Pyrophosphate extractable Fe, Al and Mn were determined on all samples. On selected horizons total elemental Si, Al, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Na, K, P and S were determined. Soil test K, P, Ca and Mg were also determined on selected horizons from each profile. Clay mineral characterization was done on selected soil profiles.

Concepts are developed of vegetative colonization and of initial stages of weathering. Suggestions are made on the classification, mapping and use of these soils.

### Introduction

The formation of soils on the storm ridges of the Hudson and James Bay lowlands has never previously been systematically studied. The initial proposal for continental north-south transects to understand soil development more fully was made in 1972 (Protz *et al.*, 1973). During the five field seasons (1976-1980) of the Hudson and James Bay coastal zone studies selected inland transects were made to sample the soils derived from the calcareous storm ridges. Sixty-three

soil profiles were described and sampled (Fig. 1). The soil profiles were sampled on the most stable parts of ridges along transects orthogonal to the coast. In several locations soils were sampled from various landform positions of an individual ridge. The soil profile descriptions, all data and exact locations are documented in the four technical reports of the field work (Martini & Protz, 1978, 1980, 1981 ; Martini *et al.*, 1979).

The purposes of this paper are : 1) to present a broad perspective of podzolic soil

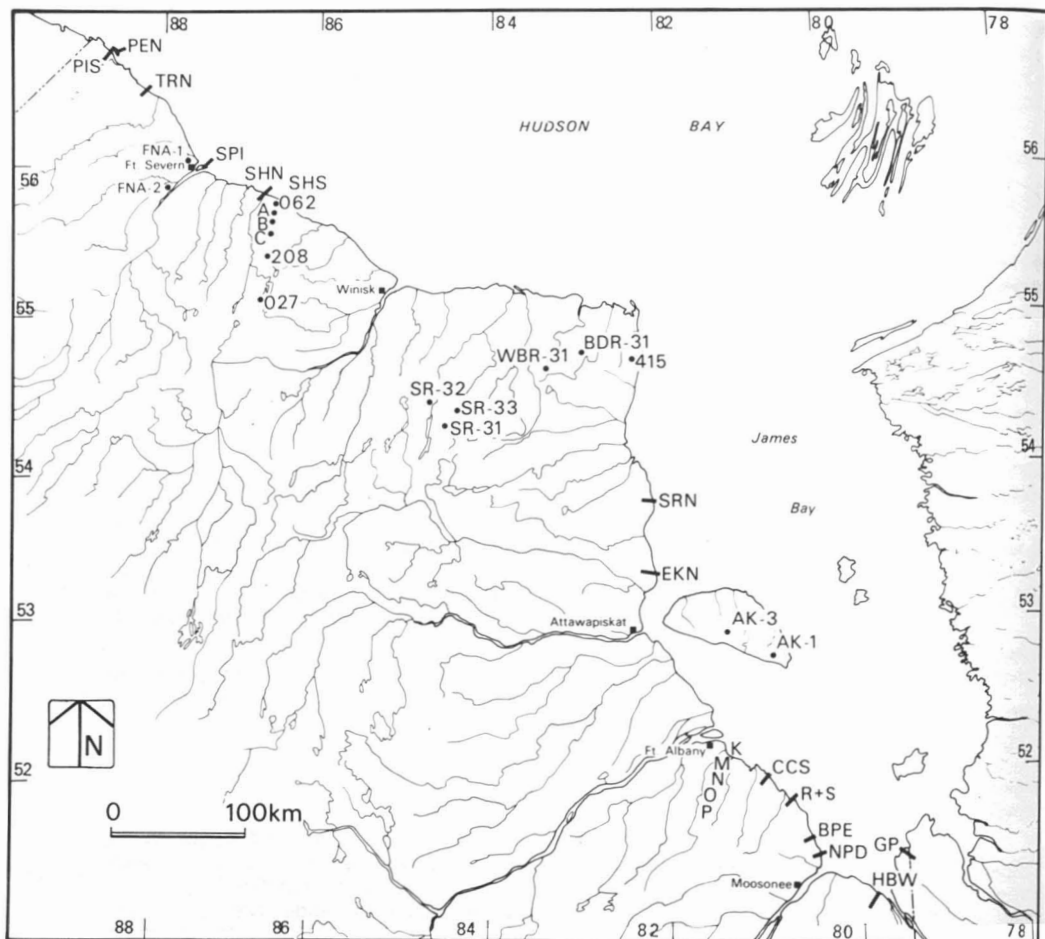


Figure 1. Location of transects and individual soil pits within the Hudson and James Bay coastal zone.

development in the Hudson and James Bay lowlands of Ontario; 2) to make some suggestions about the classification of these soils; 3) to make some suggestions for the revision of the soil map of northern Ontario; and 4) to make some observations on the use of these soils.

## Materials and methods

### FIELD PROCEDURES

Transects were chosen only where ridge sequences dominate the landscape. Soil profiles were selected to represent the major lithologic areas in the various climatic regions. Transects at Gull Point (GP), Hannah Bay West (HBW) and Kinoje (K-P) represent the southern James Bay area (Fig. 1). The Cape Henrietta Maria Arch was repre-

sented by soil profiles at site 415 to the Sutton Ridges (SR-32). The Hudson Bay coast is represented by a major transect in the Shagamu River area (SHN, SHS, -062 to -027) and landform sequences on three individual ridges at TRN (Fig. 1).

At each site at least four small pits were observed to measure the degree of horizonation. On the basis of these observations a pit was dug (45 cm × 60 cm × 100 cm depth to water table permitting). At each pit, soil temperatures were measured using metal thermometers inserted in at least 10 cm into the wall of the soil pit at 1, 5, 20 and 50 cm depths. Bulk soil samples of the major horizons and/or sedimentary layers were placed into plastic bags. Undisturbed samples of the major horizons were collected for micro-pedological studies. Triple bulk density samples of the major horizons were col-

lected where particle size permitted, using 100 cc stainless steel rings. Photographs were taken of the soil profile, site and ground vegetation.

LABORATORY ANALYSES

The particle size distribution, organic matter, pH, CaCO<sub>3</sub> equivalent, pyrophosphate extractable Fe and Al analyses were made following procedures outlined by McKeague (1978). Clay minerals were characterized by X-ray diffraction analysis of CaCO<sub>3</sub> and organic matter free clays using air dry Mg saturated, Mg saturated-glycolated, air dry K saturated and K saturated 550 C treatments. Impregnation of undisturbed samples followed procedures outlined in McCarrick & Protz (1978). The S.E.M.-E.D.X. analyses were made on an AMR-1000 with an EDAX energy dispersive X-ray spectrometer. Plant available K, Mg and Ca were determined by atomic absorption following extraction by 1N ammonium acetate. Plant available P was determined by extraction with 0.5 M sodium bicarbonate. Total chemical analyses were determined by X-ray fluorescence of ground pelletized samples of the <2 mm fraction.

Results and discussion

SOIL FORMING FACTORS

*Landforms* — The storm ridges are generally long and narrow and are aligned parallel to the present coast. Local relief is seldom greater than 150 cm. Some ridges have a local relief of less than 50 cm above the bordering swales.

*Parent material* — The parent materials are calcareous sands and gravels derived from the underlying bedrock (Norris & Sanford, 1968). The depositional nature and lithology of various ridges are described in four technical reports (Martini & Protz, 1978, 1980, 1981; Martini *et al.*, 1979).

Generally the ridges are coarse textured and well stratified. An estimate of the variability of parent material is expressed by the variation in total chemical composition of the <2 mm fraction in the C horizons of each of 24 profiles from the James Bay lowlands (Tables I and II).

*Climate* — The projected isohyets and isotherms made by Chapman & Thomas (1968) are still valid. The mean annual temperature varied from -5.5°C in the Hudson Bay area to -1.1°C in the southern James Bay area

TABLE I

Minimum, average and maximum amounts of Si, Al, Fe, Mn and Ti in the <2 mm fraction in three selected horizons of each of 24 soil profiles developed on ridges in the James Bay/Ontario coastal lowlands.

Horizon		Si	Al	Fe	Mn	Ti
		(% oxide)				
A	Minimum	20.50	4.82	0.87	0.00	0.13
	Average	65.67	8.66	2.66	0.09	0.32
	Maximum	83.67	10.95	5.98	1.44	0.52
B	Minimum	29.68	4.77	1.30	0.01	0.13
	Average	54.86	8.26	3.06	0.04	0.31
	Maximum	81.38	12.07	5.98	0.12	0.49
C	Minimum	19.68	4.74	0.90	0.00	0.10
	Average	47.34	7.17	2.12	0.05	0.25
	Maximum	74.74	10.34	4.89	0.41	0.38

(Fig. 2). The mean annual precipitation varied from 51 cm at the Manitoba border to 76 cm at the Québec border (Fig. 2).

*Time* — The soil profiles ranged in age from less than 50 years to greater than 5,000 years. These ages are based on rates of uplift, proximity of sites to the coast and some initial C<sup>14</sup> dates of organic material from the bottom of bogs.

*Vegetation* — Coastal ridges are vegetated by lichens and other tundra plant species on the Hudson Bay coast. In southern James Bay, coastal ridges are inhabited by various grasses and shrubs. The sequential tree vegetation is black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), white spruce (*Picea glauca*

TABLE II

Minimum, average and maximum amounts of Ca, Mg, K, Na, P and S in the <2 mm fraction in three selected horizons of each of 24 soil profiles developed on ridges in the James Bay/Ontario coastal lowlands.

Horizon		Ca	Mg	K	Na	P	S
		(% oxide)					
A	Minimum	1.17	0.41	1.17	0.18	0.00	0.00
	Average	5.09	1.85	2.11	1.80	0.16	0.03
	Maximum	28.43	4.54	2.88	2.99	1.48	0.28
B	Minimum	1.44	0.84	1.21	0.00	0.02	0.00
	Average	8.52	2.88	1.99	1.63	0.14	0.07
	Maximum	26.85	5.18	2.91	3.13	0.42	0.05
C	Minimum	4.92	1.78	1.18	0.00	0.08	0.00
	Average	12.54	3.50	1.83	1.84	0.15	0.01
	Maximum	30.32	5.49	2.90	3.60	0.41	0.04

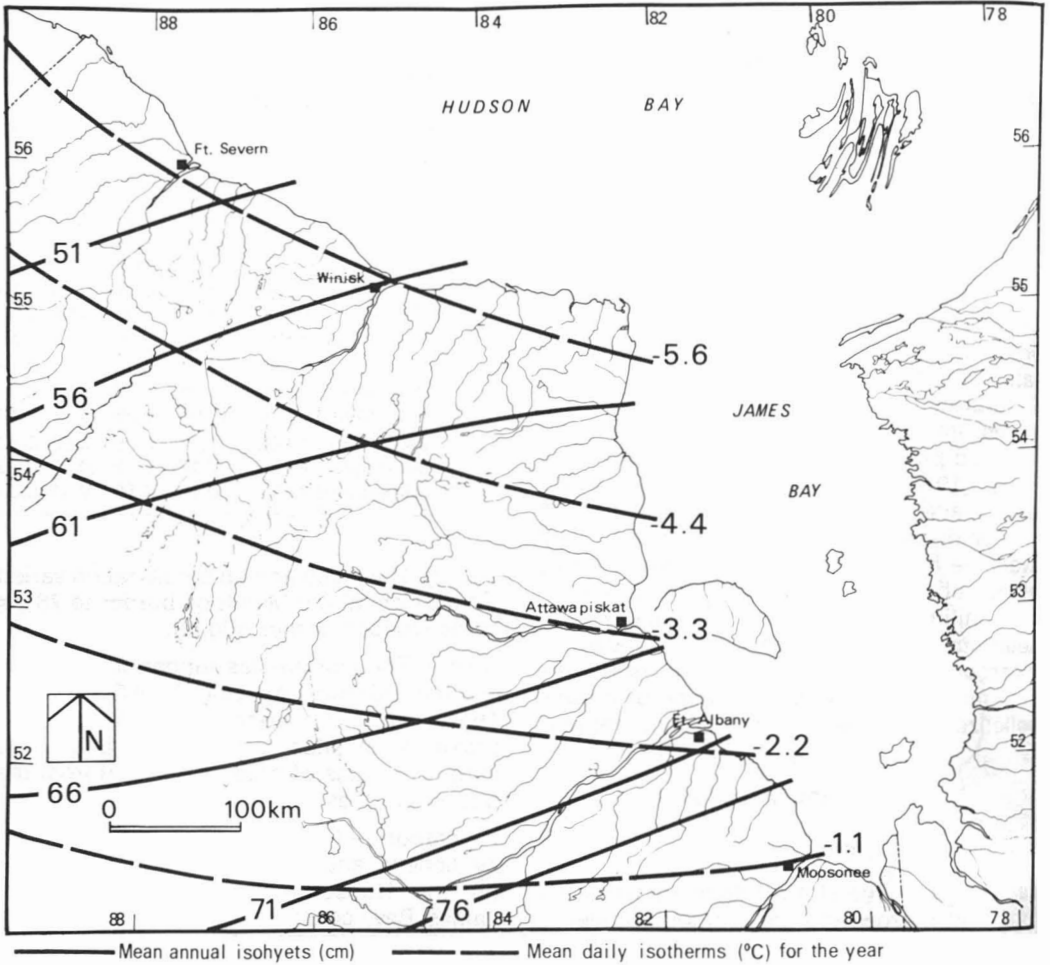


Figure 2. Mean annual isohyets and mean daily isotherms in the Hudson and James Bay coastal zone (adapted from Chapman & Thomas, 1968).

(Moench) Voss), balsam poplar (*Populus balsamifera* L.), black spruce and subsequently jack pine (*Pinus banksiana* Lamb) and/or balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill). Sims *et al.* (1979) compiled a literature review and bibliography of the vegetative studies in the Hudson Bay lowland. Detailed vegetative studies of the southern James Bay area have been published by Riley & Mackay (1980) and in the Hudson Bay lowland by Riley (1980).

#### MAJOR CHARACTERISTICS OF THE SOILS

**Macromorphology** — The soils range from orthic regosols (Fig. 3, profile no. 1) to orthic humo-ferric podzols (Fig. 3, profile no. 4). The orthic regosols on the coastal ridges are covered with grasses and shrubs in the southern James Bay area and have thin LF

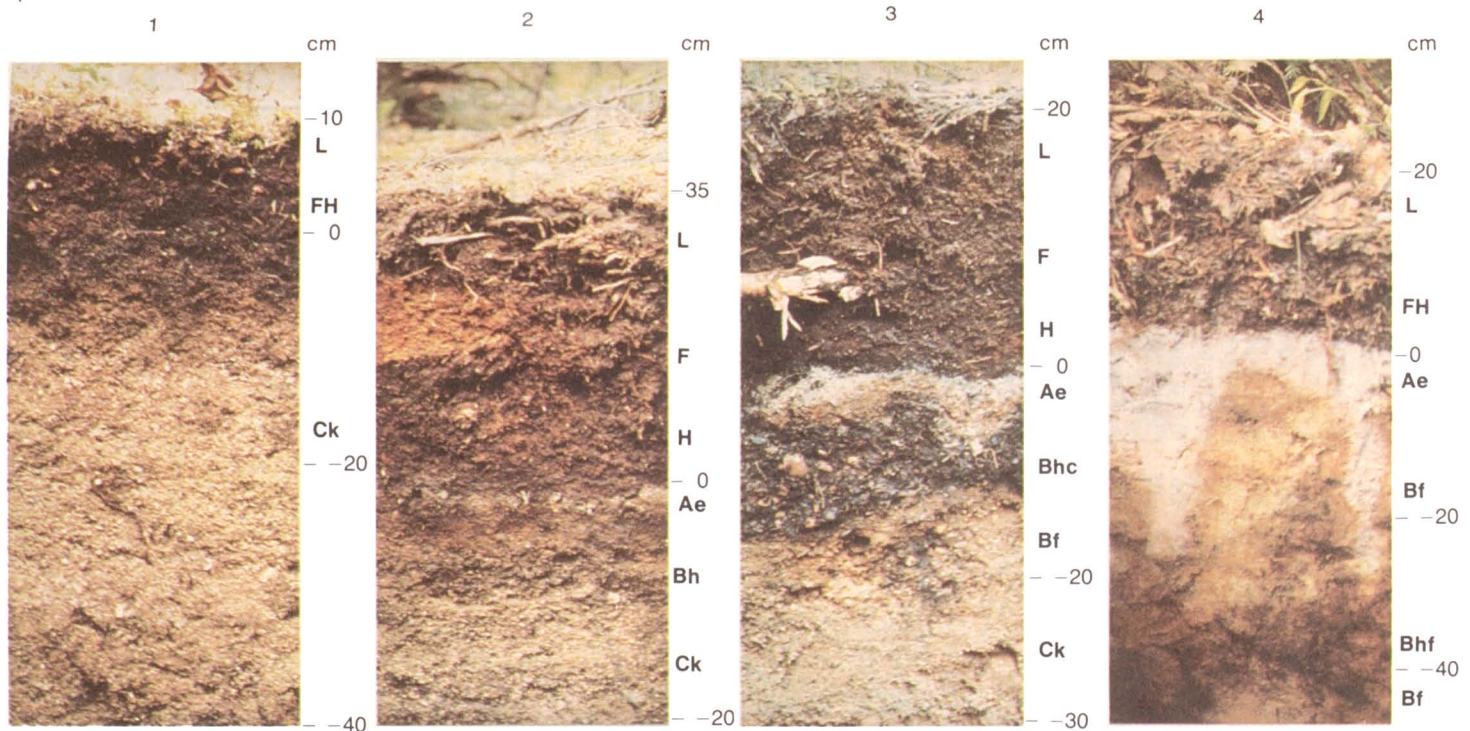
horizons. Similar soils north of the Swan River (transect SRN) are developing under tundra vegetation. The accumulation of LF horizons and a slight weathering of gravel surfaces in the upper Ck horizon is the extent of pedological development.

Further inland the ridges are inhabited by black spruce [*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.] and in some areas by white spruce [*Picea glauca* (Moench) Voss]. The understory is dominated by various lichens. The orthic humic podzols have substantial (up to 35 cm) accumulations of LFH horizons and thin Ae horizons (Fig. 3, profile no. 2). These soils have minimal Bh horizon development.

Yet further inland older soils are presently inhabited by black spruce and balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) with an understory dominated by lichens and mosses. These

INCREASING DISTANCE FROM THE COAST →

PROFILE NO.



A	Orthic Regosol	Orthic Humic Podzol	Ortstein Humic Podzol	Orthic Humo-Ferric Podzol
B	Entisol	Humod	Humod	Haplorthod
C	Regosol	Humic Podzol	Humic Podzol	Orthic Podzol

Figure 3. Representative sequence of soils developed on storm ridges in the Hudson and James Bay coastal zone (A-Canadian classification (Canadian Soil Survey Committee, 1978) B-Soil taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) and C-World (F.A.O.) (Dudal, 1968).

orstein humic podzols (Fig. 3, profile no. 3) have thicker Ae horizons with cemented Bh horizons. The cemented Bh horizons may be a result of higher water table (in lower ridges).

Farther inland the ridges are presently covered by jack pine (*Pinus banksiana* Lamb) and/or balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill] with an understory dominated by lichens and various shrubs. Orthic humo-ferric podzols found in this area (Fig. 3, profile no. 4) have thicker tonguing Ae horizons and well developed Bf horizons. These soils are estimated to be older than 5,000 years and have undergone several vegetative cycles.

It appears that the soils derived from storm ridges develop into podzolic soils directly from regosolic soils. Horizon thickness criteria would be the only property limiting these

soils with podzolic horization to the brunisolic order.

*Organic matter* — There appears to be a zone of maximum accumulation of LFH horizons between the coast and presence of jack pine and/or balsam fir. This may be due to repeated forest fires during the last 5,000 years or the slight increase in mean annual temperature increasing the rate of oxidation of organic materials or to a lower production of biomass as the soils become more acid as the land mass is raised to higher elevations.

The maximum amount of organic matter found in a Bh horizon was 25.5%. These high accumulations are probably due to the flocculation of translocated organic materials in thin horizons above high water

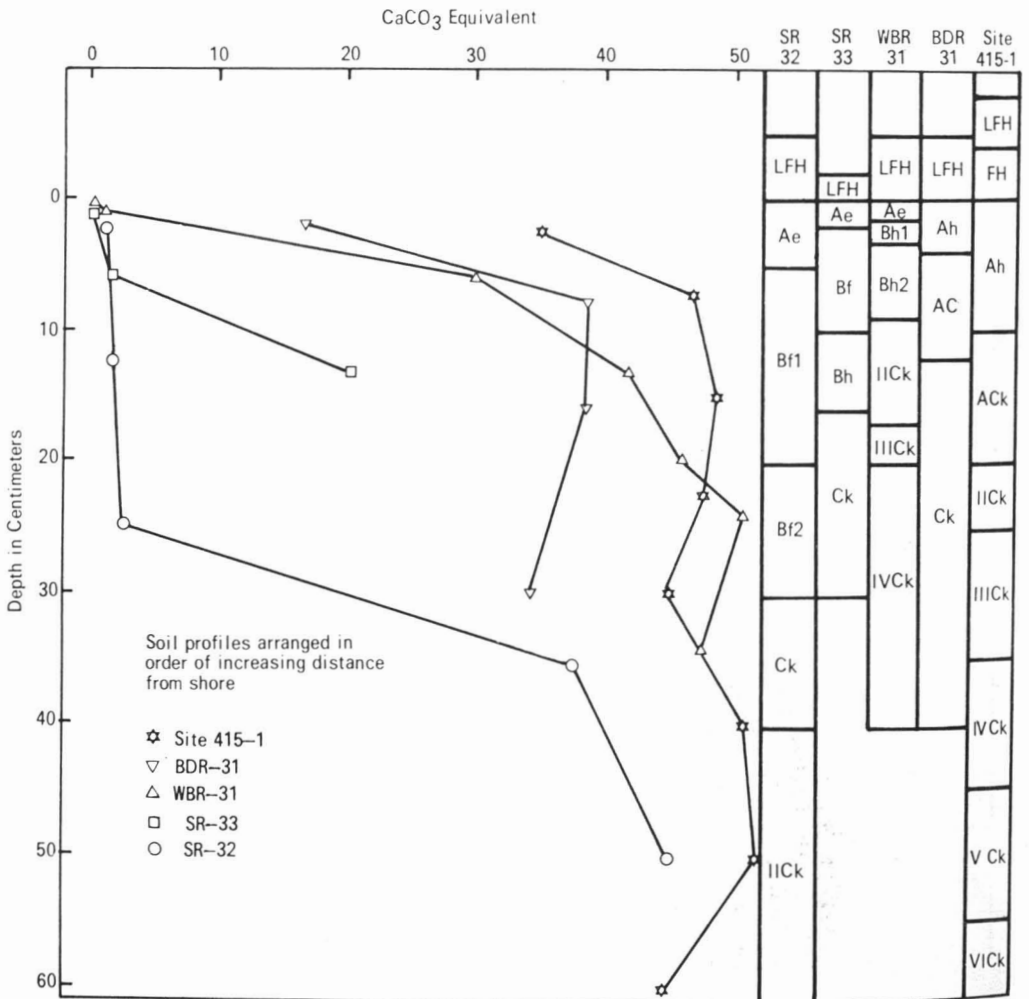


Figure 4. CaCO<sub>3</sub> equivalent distribution with depth in five soil profiles from the Cape Henrietta Arch transect.



tables in a calcareous parent material. Variations in organic matter distribution with depth are caused by translocation and by stratification in the parent materials, as roots concentrate in the finer layers.

The organic matter of the Bf and Bh horizons from the Gull Point (GP) transect had an average Ch/Cf (carbon content of humic acid/carbon content of fulvic acid) ratio of 0.22 which is similar to podzolic B horizons of B.C. soils (Lowe, 1980).

*CaCO<sub>3</sub> content and pH* — As soils increase in age the pH decreases in association with CaCO<sub>3</sub> leaching as depicted by the soils from the Cape Henrietta Arch transect (Fig. 4). It appears that complete removal of CaCO<sub>3</sub> occurs in very thin horizons (Fig. 4). As a result pH values 4.0 or lower occur in Ae horizons whereas the pH values as high as 7.5 a few centimetres deeper in the Ck horizons (Table III). Precipitates of CaCO<sub>3</sub> on the bottom of solum gravels were present in soils north-west of the 61 cm isohyet (Fig. 2).

*Na-pyrophosphate extractable Fe and Al* — Generally, the Na-pyrophosphate extractable Fe and Al are low because the calcareous parent materials are low in Fe and Al bearing minerals. Thus even with more extensive weathering the Na-pyrophosphate extractable Fe and Al are expected to be low. The accumulation of Al increases with the initial formation of a Bh horizon (Table III, profile WBR-31) but decreases as original organic material decomposes with time (Table III, Profiles SR-33 and SR-32).

*Clay mineral formation* — Even in these coarse textured highly variable parent materials there is a measurable increase in clay content of the solum with time (Martini & Protz, 1978; Martini *et al.*, 1979). Smectite was found in the Ae horizons of the older podzolic soils.

The amount of smectite increases with time of weathering, from the Ck to Ae horizons (Fig. 5) within profiles, and within Ae horizons as function of distance (time) from

TABLE III  
Selected data from four horizons of each of the five soil profiles on the Cape Henrietta Arch transect

Depth (cm)	Horizon	Color (moist)	pH CaCl <sub>2</sub>	Organic carbon (%)	Na-Pyrophosphate Fe (%)	Al (%)
<i>Site 415-1</i>						
0-5	Ah1	10YR 2.5/1	7.2	1.9	0.03	0.01
5-10	Ah2	10YR 3/2	7.3	0.8	0.02	0.01
10-20	ACk	10YR 4/3	7.4	0.04	0.01	0.004
20-25	IICk	10YR4/3,2.5/1	7.4	0.2	0.01	0.003
<i>BDR-31</i>						
0-4	Ah	10YR 2.5/1	7.3	7.4	0.05	0.07
4-12	AC	10YR 3/2	7.4	0.7	0.01	0.01
12-20	Ck1	10YR 3/2	7.5	1.0	0.02	0.02
20-40	Ck2	10YR 4/3	7.5	0.6	0.02	0.01
<i>WBR-31</i>						
0-1	Ae	10YR 4/1	3.5	1.9	0.09	0.11
1-3	Bh1	7.5YR 4/3	5.4	5.0	0.11	1.17
3-9	3h2	7.5YR 3/2	7.4	4.4	0.06	0.13
9-17	IICk	10YR 4/4	7.5	0.2	0.01	0.01
<i>SR-33</i>						
0-2	Ae	10YR3/1,5/1,6/6	4.0	3.9	0.10	0.13
2-10	Bf	7.5YR 4/4	5.6	2.3	0.09	0.38
10-16	Bh	10YR 3/2	7.5	2.7	0.06	0.23
16-40	IICk	Coarse gravels		(no < 2 mm fraction)		
<i>SR-32</i>						
0-5	Ae	10YR 7/1	3.6	0.9	0.03	0.04
5-20	Bf1	10YR 6/8	5.0	0.2	0.04	0.15
20-30	Bf2	10YR 6/6, 6/3	6.6	0.3	0.02	0.08
30-40	Ck	10YR 7/3	7.5	0.1	0.004	0.01

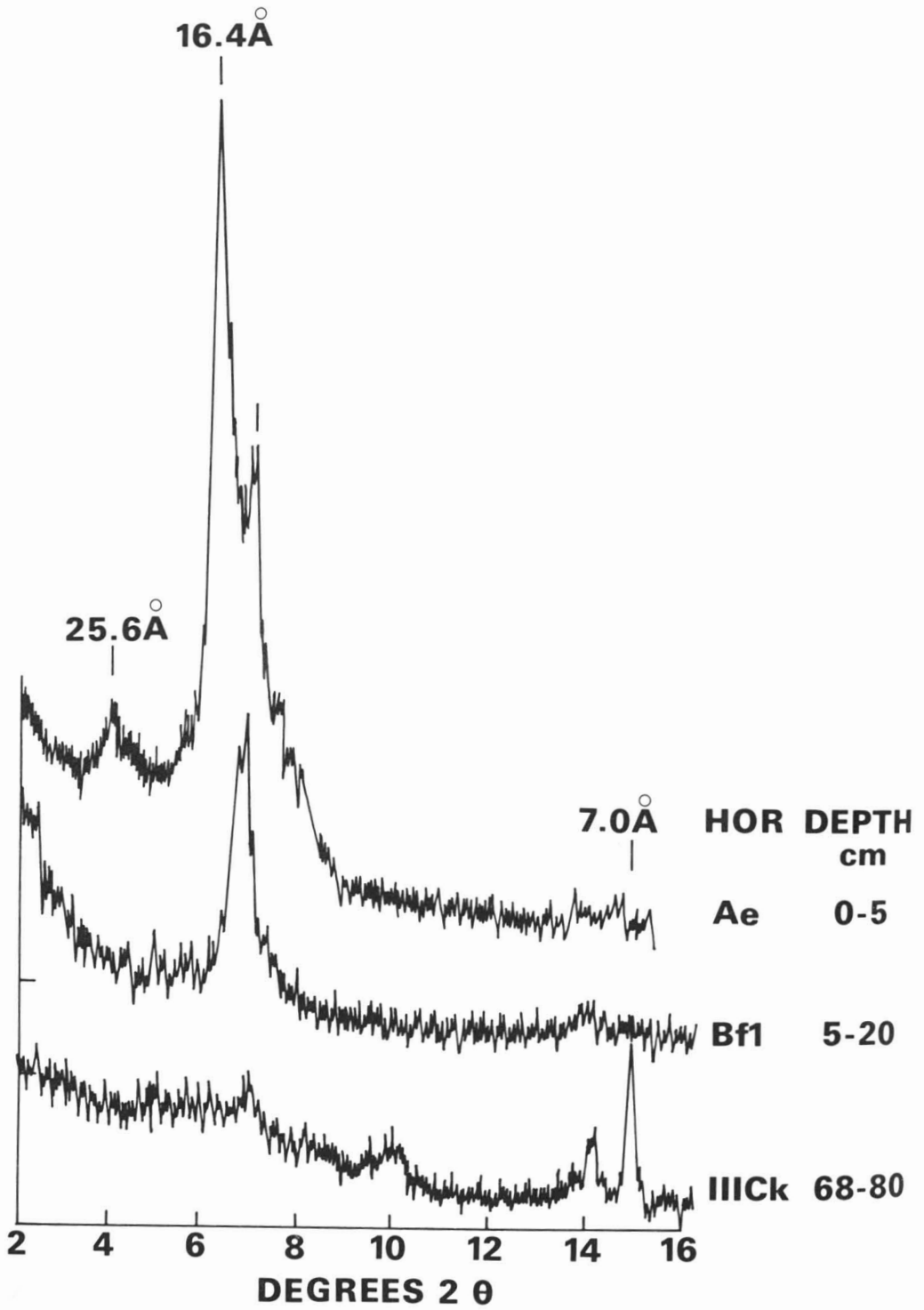


Figure 5. Mg saturated glycolated X-ray diffraction patterns of selected horizons from soil profile SR-32.

the coast. This is characteristic of Canadian podzolic soils, (McKeague *et al.*, 1978; Kodama, 1979).

*Micromorphology of B horizons* — The cementing character of the organic matter in Bh horizons is visible in thin sections. The penetration of fine organic materials into calcareous gravels is a striking micromorphological feature of these horizons. The saturation of the organic matter in Bh horizons with Ca has been measured by S.E.M. — E.D.X. analysis. With the formation of Bf horizons the initial organic material is oxidized, the <2 μm clay fraction increases and the Fe content associated with the plasma increases resulting in more common ferri-argillans of podzolic soils in the southern regions of Ontario.

*Bulk density* — The C horizon bulk densities ranged from 1.4 to 1.7 g/cm<sup>3</sup>. The range is likely a function of particle size in these coarse textured materials. The Ae, Bf and Bh horizons had bulk densities from 1.0 to 1.3 g/cm<sup>3</sup>.

*Soil temperature* — The podzolic soils were consistently 5 to 8°C colder than the coastal gleysols. This difference is attributed to vegetative cover, soil texture and soil water. Ridge orientation also has an effect on soil temperature. East-west oriented ridges are shaded during the height of sun by the taller trees growing on the toe and sideslope positions. The ground surfaces on north-south oriented ridges are not shaded.

SOIL FERTILITY

Plant available P is low in these coarse textured soils (Table IV) as would be expected from the low total P measured in all horizons (Table II). Plant available K is also low in most of these soils (Table IV). Plant available Mg and Ca are low in the more weathered horizons of the inland podzolic soils (Table IV). Also these horizons have low total S contents (Table II).

If horticultural crops are to be grown (Gallagher, 1981) complete fertilizers would have to be added.

Conclusion

CLASSIFICATION

Most of the podzolic soils have Bh horizons which contain more than 1% organic carbon but are less than 10 cm thick (Table

TABLE IV

Minimum, average and maximum amounts of plant available P, K, Mg and Ca in the <2 mm fraction in three selected horizons of each of 44 soil profiles developed on ridges in the Hudson and James Bay Ontario coastal lowlands.

Horizon		P	K	Mg	Ca
		(ppm)			
A	Minimum	1	8	15	37
	Average	5	30	111	1989
	Maximum	46	132	992	6600
B	Minimum	1	8	7	37
	Average	4	26	133	2534
	Maximum	42	168	1024	6400
C	Minimum	0	8	22	2000
	Average	2	22	65	3098
	Maximum	14	96	312	6600

III, profiles WBR-31 and SR-33). Na-pyrophosphate extractable Fe is less than 0.3% (Table III) and the organic carbon to Na-pyrophosphate Fe ratio is greater than 20. Thus Bh horizons in this area may not meet the 10 cm thickness criteria (Canada Soil Survey Committee, 1978).

In certain profiles (as represented by SR-32 in Table III) the Bf horizon does not meet the Na-pyrophosphate extractable Fe + Al > 0.4% criteria. This may not be pedogenetically possible from these calcareous parent materials which are relatively low in Fe and Al bearing minerals. If these thin Bh horizons and Bf horizons with low content Na-pyrophosphate extractable Fe and Al are classified as Bm horizons we lose the proper concept of pedogenetic processes in the area. Therefore, it is recommended that the thickness and Na-pyrophosphate extractable Fe and Al criteria be reconsidered for the proper classification of soils of this area.

SOIL GENESIS

Weathering processes result in low pH values in thin Ae and Bh horizons below relatively thick LFH horizons. Smectite is formed in the Ae horizons. Precipitation of CaCO<sub>3</sub> on lower solum gravels occurs north of the 61 cm isohyet. This may be a good boundary for separating soils at a subgroup level. It appears that Bh horizons form in the early stages of podzolization and are oxidized in later stages of soil development.

## SOIL MAP OF ONTARIO

It is evident that podzolic soils occur much further north in Ontario than initially suspected. Even though the area occupied by these soils is small they should appear on the soil map of Ontario (Acton & Gillespie, 1974) because their locations are extremely important to any activity in the lowlands. The revised soil map may best be based on physiographic maps being prepared from Landsat image classification (Pala & Weischet, 1982; Pala & Boissonneau, 1982).

### Acknowledgments

Thanks are offered to the following individuals and organizations. Walter Gloschenko of the National Water Resources Institute, for the total elemental analyses and help with the identification of vegetation. The laboratory of the Ontario Institute of Pedology for many of the analyses. Lawrence Lowe. Soil Science, University of British Columbia for the characterization of organic matter. Andy McLellan for drafting figures and to Anne Slot for typing the manuscript. To Canadian Wildlife Service for infrastructure field support and to Harry Dale and Jim Crawford for the many safe helicopter trips. Tom Bistricki of the National Water Research Institute for S.E.M.-E.D.X. analysis. To D.S.S. contract no. 05479-00087, NSERC grant no. A3547 and O.M.A.F. Program 39 for financial support.

### References

- ACTON, C.J. & J.E. GILLESPIE, 1974. Soil resources of Ontario. — Univ. Guelph, Ont. Notes on Agriculture, 10: 8-11.
- CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE, 1978. The Canadian system of soil classification. — Res. Br., Can. Dept. Agric., Publ. no. 1646, 164 p.
- CHAPMAN, L.J. & M.K. THOMAS, 1968. The climate of northern Ontario. — Dept. of Transport, Met. Br. Toronto, Climatological Studies, no. 6, 58 p.
- DUDAL, R., 1968. Definitions of soil units for the soil map of the world. — World Soil Resources, F.A.O.-U.N.E.S.C.O., Rep. no. 33, 72 p.
- GALLAGHER, G., 1981. Vegetables in the North. — *Agrologist*, 10: 16-17.
- KODAMA, H., 1979. Clay minerals in Canadian soils: their origin, distribution and alteration. — *Can. J. Soil. Sci.*, 59: 37-58.
- LOWE, L.E., 1980. Humus fraction ratios as a means of discriminating between horizon types. — *Can. J. Soil. Sci.*, 60: 219-229.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1978. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of southern James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo. no. 78-1, 316 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1980. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of northern James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo. no. 80-1, 117 p.
- MARTINI, I.P. & R. PROTZ, 1981. Coastal geomorphology, sedimentology and pedology of Hudson Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo. no. 81-1, 322 p.
- MARTINI, I.P., R. PROTZ, D. GRINHAM, W.A. KING & K.E. CLARKE, 1979. Studies of coastal sediments, soils and biota, James Bay, Ontario, Canada. — Dept. Land Resource Science, Univ. Guelph, Ontario, Tech. Memo. no. 79-1, 290 p.
- McCARRICK, T. & R. PROTZ, 1978. The effects of soil composition upon three acrylic soil impregnating resins. — *Comm. Soil Sci. Pl. Analysis*, 9: 955-962.
- McKEAGUE, J.A. (ed.), 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. — Canadian Society of Soil Science, 212 p.
- McKEAGUE, J.A., G.J. ROSS & D.S. GAMBLE, 1978. Properties, criteria of classification, and concepts of genesis of podzolic soils in Canada. — Pages 27-60 in W.C. Mahaney (ed.). *Quaternary soils*. York University Press, 508 p.
- NORRIS, A.W. & B.V. SANFORD, 1968. Paleozoic and Mesozoic geology of the Hudson Bay lowlands. — Pages 169-205 in P.J. Hood, (ed.). *Earth science symposium on Hudson Bay*. *Geol. Surv. Can.*, Paper no. 68-53, 386 p.
- PALA, S. & A. BOISSONNEAU, 1982. Wetland classification maps for the Hudson Bay lowland. — *Naturaliste can.*, 109: 653-659.
- PALA, S. & W. WEISCHET, 1982. Toward a physiographic analysis of the Hudson Bay-James Bay lowland. — *Naturaliste can.*, 109: 637-651.
- PROTZ, R., L.P. WILDING & J. THORPE, 1973. Remarks and suggestions at conclusion of research conference on soil development sequences and Loess distribution. — *Soil Sci.*, 115: 268-270.
- RILEY, J.L., 1980. The flora and phytogeography of the Hudson Bay lowland. — M.Sc. thesis. Dept. of Botany, Univ. of Toronto, 436 p.
- RILEY, J.L. & S.M. MACKAY, 1980. The vegetation and phytogeography of coastal southwestern James Bay. — *Contr. R. Ont. Mus.*, Toronto, Ontario, Life Sci. no. 124, 86 p.
- SIMS, R.A., J.L. RILEY & J.K. JEGGLUM, 1979. Vegetation, flora and vegetational ecology of the Hudson Bay lowland: a literature review and annotated bibliography. — *Can. Forestry Service, Dept. of Environment, Sault Ste. Marie, Ontario, Report no. O-X-297*, 177 p.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. — U.S.D.A. Handbook no. 435, Washington, U.S. Gov't. Printing Office, 754 p.

## SOIL AND TERRAIN DEVELOPMENT ON THE YORK FACTORY PENINSULA, HUDSON BAY LOWLAND<sup>1</sup>

C. TARNOCAI

*Land Resource Research Institute, K.W. Neatby Building  
Ottawa, Ontario K1A 0C6*

### Résumé

Le lit de la baie d'Hudson se soulève graduellement suite à la fonte des glaces (1 à 1,3 m/siècle). Cette région offre donc un gradient pédogénétique et topographique, les types de sols et de reliefs relativement plus récents étant situés près des rives de la Baie et les plus anciens se rencontrant plus loin à l'intérieur des terres. Cinq mécanismes importants, à savoir les mouvements glacio-isostatiques, côtiers, fluviaux, cryogéniques (pergélisol) et tourbifiants ont été à l'œuvre au cours de la formation du relief dans la péninsule de York Factory. À cause du mauvais drainage et du pergélisol, on a assisté à la formation de sols gleysoliques, organiques et crysoliques dans la région. La succession des types de reliefs et des sols correspondants qui se sont formés de la côte vers l'intérieur par l'action de ces mécanismes sont des marais bas et perchés et des dépôts de plage avec régo-gleysols, une plaine alluviale avec régo-gleysols (phase tourbeuse), des fens horizontaux, des fens à paises et des plages avec mésisols terriques et crysols mésiques terriques, et des tourbières de plateau et tourbières à paises avec crysols fibriques. La baisse du pH et des teneurs en calcium, magnésium, sodium et cendres des sols et de l'eau, ainsi que l'accroissement d'épaisseur de la tourbe et du pergélisol, sont liés à la pédogénèse de la côte vers l'intérieur.

### Abstract

The Hudson Bay floor is continuously being uplifted due to active glacial rebound (1.0-1.3 m per century). This area thus provides a gradient of soil and terrain development, with relatively young soils and terrain types occurring close to the Hudson Bay shore and older soils occurring further inland. Five major processes — glacial rebound, coastal processes, fluvial processes, cryogenic or permafrost processes and peat-forming processes — have been operative during the development of the terrain in the York Factory peninsula. As a result of the poorly drained conditions and the development of permafrost, gleysolic, organic, and crysolic soils have developed in the area. The sequence of terrain types and associated soils that has developed from the coast toward the interior as a result of these processes is: low and high marshes and beach deposits with rege gleysols; an alluvial plain with rege gleysols, peaty phase; horizontal fens, palsa fens and beaches with terric mesisols and terric mesic crysols; and peat plateau bogs and palsa bogs with terric fibric crysols. The decrease in pH and calcium, magnesium, sodium and ash content in both soils and water and the increase in peat thickness and permafrost are associated with soil development from the coast toward the interior.

### Introduction

The York Factory peninsula is located between the estuaries of the Hayes and Nelson rivers on the southwestern coast of Hudson Bay in Manitoba (Fig. 1). The abandoned trading post of York Factory, situated on the Hayes River side of the

peninsula, has a unique heritage of early trade and exploration. Maps and written records of the area, dating back to the 17<sup>th</sup> century, provide excellent information for tracing the changes and seaward progression of the coastline of the peninsula.

An interdisciplinary research team comprised of representatives from the fields of geomorphology, soils, botany, and history

<sup>1</sup> Contribution no. L.R.R.I. 121.

visited the York Factory area during the summers of 1969 and 1970. Some of the data generated by this team was utilized by Simpson (1972) who studied the geomorphological processes of the area and by Tarnocai (1970) who mapped the soils of the area.

The purpose of this paper is to summarize the soil and terrain development, especially the organic terrain development, on the peninsula.

### Study area

The York Factory area has very little relief, sloping gently to Hudson Bay with a gradient of approximately 1 m per kilometre. The only relief is provided by raised beaches, palsas, and peat plateaus. These landforms vary in height from 1.5 to 2 m.

The steep banks of the Hayes and Nelson rivers have a height of approximately 6 to 7 m at York Factory, diminishing to sea level at Marsh Point on the tip of the peninsula.

The drainage of the area is immature and in some places, nearly nonexistent. The raised beaches, perpendicular to the general direction of the land-fall, have a major damming effect on drainage. Consequently, the inter-beach areas are generally very poorly drained with the exception of the palsas.

The peninsula is periodically inundated by the Hayes River. This inundation takes place during the break-up of the river, generally in late May or early June. If easterly winds cause the heavy Hudson Bay ice to dam the Hayes River estuary, the river ice may cause this dam to reach 10 m or more in height. Ballantyne (1848) described the result of this phenomena. It should be pointed out, however, that inundation due to ice dam formation does not affect the Nelson River side of the peninsula because of the wide estuary of this river.

A large part of the peninsula is covered by shallow peat which is usually interlayered with alluvium as a result of inundation. Further inland, the area is beyond the flood level and deep acid peat deposits have accumulated.

These peat deposits are underlain by alluvial and marine sediments. The alluvial layer is approximately 4 m thick at York Factory and thins out towards both the Nelson River and Marsh Point. At Marsh Point marine deposits, or a thin layer of alluvium over

marine deposits, are found. Along the Nelson River side of the peninsula till deposits are found in some of the banks. The materials overlying this till are marine sediments, alluvium, and peat.

The recent beaches are composed mainly of driftwood with a small amount of coarse mineral material. The raised (abandoned) beaches are covered by various thicknesses of alluvium and peat.

The climate of the area is characterized by short, cool summers and long, cold winters. The mean annual temperature (Transport Canada, based on an eleven-year period) at Port Nelson (on the north side of the Nelson River estuary) is  $-6^{\circ}\text{C}$ . The mean monthly temperature is highest in July ( $13^{\circ}\text{C}$ ) and lowest in January ( $-27^{\circ}\text{C}$ ). The total annual precipitation is 349 mm, with approximately two-thirds of this falling from June through August. Other climatic data (Weir, 1960), indicate that the area has 700 to 900 degree-days above  $6^{\circ}\text{C}$  and a frost-free season of 60 to 70 days.

### Materials and methods

Soil and terrain investigations were carried out along a surveyed, 19-km long base line from Marsh Point inland on the Hayes River side of the peninsula (Fig. 1) and along foot traverses on both sides of the peninsula.

Unfrozen mineral soils were examined and sampled in soil pits, organic soils were examined and sampled using a Hiller peat auger (MacFarlane, 1969), and perennially frozen soils were examined and sampled using a portable permafrost auger (Zoltai, 1978). Peatlands and mineral wetlands were classified according to Tarnocai (1980), soils were classified according to the Canadian system of soil classification (Canada Soil Survey Committee, 1978), and soil and water analyses were carried out according to methods outlined in McKeague (1978). The morphological characteristics of the soils discussed in this paper are summarized in Table I.

### Terrain development

Five major processes — (1) glacial rebound, (2) coastal processes, (3) fluvial processes, (4) cryogenic or permafrost processes and (5) peat-forming (biological) processes — have been operative during the evolution of the York Factory peninsula. The

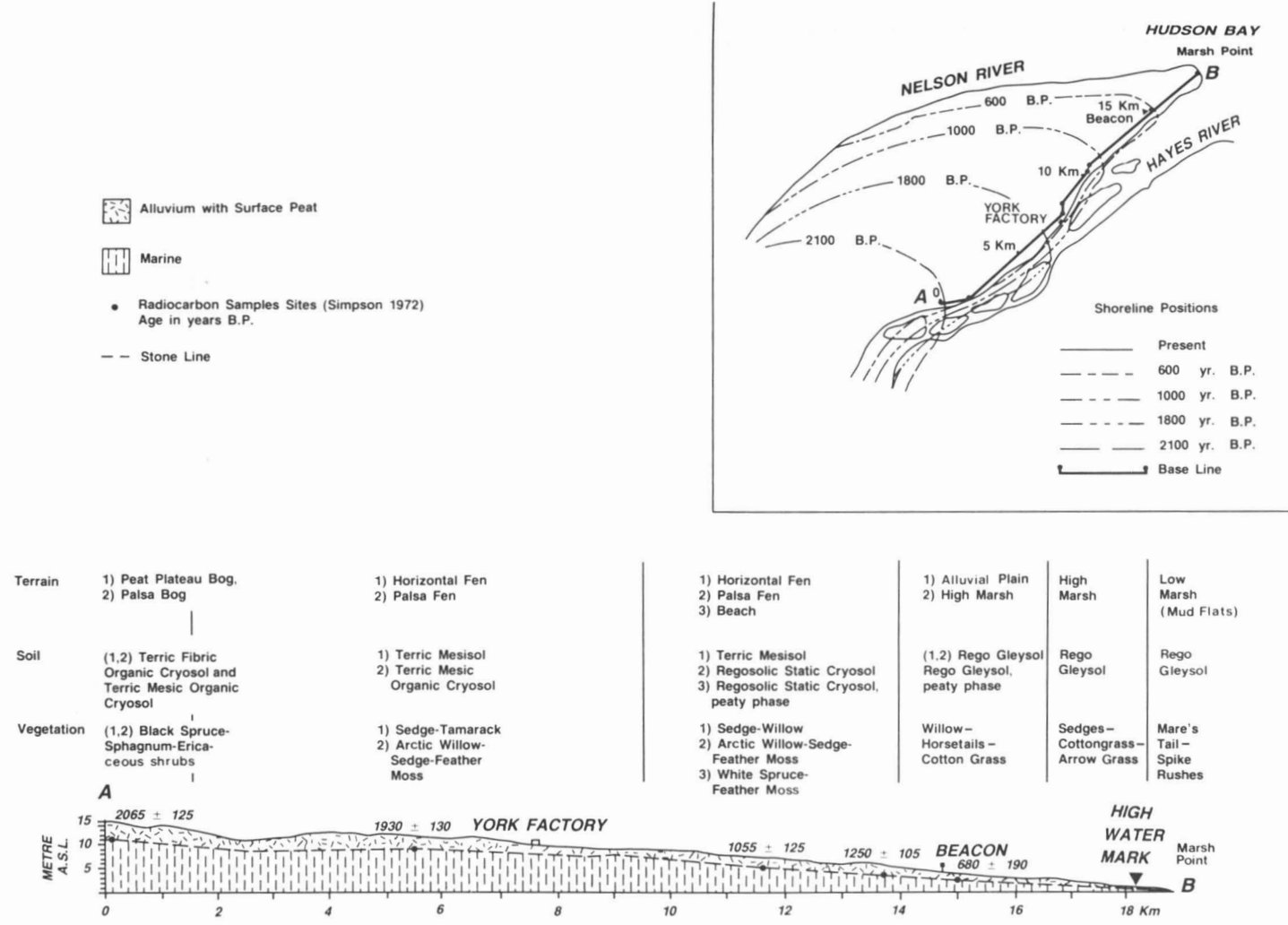


Figure 1. Cross-section along a surveyed base line running inland from Marsh Point, showing terrain, soil and vegetation sequences. The radiocarbon dates and the shoreline positions and dates are from Simpson (1972).

TABLE I  
Morphological characteristics of soils along the base line on the York Factory peninsula

Horizon	Depth (cm)	pH KCl	CaCO <sub>3</sub> Equiv. %	Calcite %	Dolomite %	Ash %	C %	Total N %	Total sand	Silt %	Clay %	Fiber content % rubbed	unrubbed
Y1. Rego gleysol													
Ckg	0-26	7.6	31.5	13.9	16.2	—	—	0.11	38.2	48.5	13.3	—	—
lICkg	26-58	7.7	40.4	22.3	16.6	—	—	0.04	27.9	57.1	15.0	—	—
Y2. Terric mesisol													
Om1	0-15	7.6	11.9	6.4	5.1	31.4	37.7	1.18	—	—	—	22	51
lICkg1	15-26	7.0	43.5	17.5	24.0	—	2.3	0.26	5.0	78.3	16.7	—	—
Om2	26-37	7.4	22.9	3.4	18.0	68.8	18.8	0.75	—	—	—	20	43
lICkg2	37-45	7.4	19.3	4.6	13.6	—	13.3	0.61	—	—	—	—	—
Om3	45-61	7.4	29.3	8.6	19.1	65.6	24.0	0.21	—	—	—	20	42
lICkg3	61-69	8.0	17.6	6.6	10.1	—	0.6	0.03	87.1	12.9	0.0	—	—
lICkg4	69-86	7.0	40.9	11.8	26.9	—	1.5	0.13	17.5	67.5	15.0	—	—
Y3. Regosolic static crysol													
Ckgj1	0-13	7.4	29.9	13.4	15.2	—	14.6	0.29	—	—	—	—	—
Ckgj2	13-17	7.0	25.8	9.9	14.6	—	7.0	0.27	5.0	77.0	18.0	—	—
Ckgj3	17-20	7.1	25.5	9.0	15.2	—	10.4	0.45	—	—	—	—	—
lIOMz1	20-26	6.9	6.1	0.0	5.6	—	27.2	1.27	—	—	—	17	52
lIOMz2	26-31	7.1	8.5	0.0	7.8	—	27.3	1.05	—	—	—	14	40
Ckgj4	31-38	7.0	26.7	10.0	15.3	—	10.9	0.50	12.0	65.0	23.0	—	—
Ckgz	38-158	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y4. Regosolic static crysol, peaty phase													
Om	0-20	7.0	3.9	1.0	2.6	36.9	41.9	1.66	—	—	—	31	68
Ckgj	20-31	7.1	28.6	10.5	16.6	—	10.5	0.43	14.5	66.5	19.0	—	—
Ckgjz1	31-48	7.2	25.3	6.4	17.4	—	7.0	0.34	8.4	74.8	16.8	—	—
Ckgjz2	48-64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y5. Terric mesisol													
Of	0-32	6.6	—	—	—	29.0	49.3	1.34	—	—	—	42	74
Om1	32-52	7.1	26.8	3.5	21.5	69.7	17.8	0.48	—	—	—	22	45
Om2	52-80	7.3	26.1	3.0	21.3	69.4	17.7	0.41	—	—	—	22	48
lICkg	80 plus	7.2	40.1	12.8	25.1	—	2.6	0.16	8.6	75.0	16.4	—	—
Y6. Terric mesic organic crysol													
Om1	0-18	5.6	—	—	—	10.8	49.3	1.85	—	—	—	38	73
Om2	18-38	—	—	—	—	17.4	43.6	1.83	—	—	—	27	67
Omz1	38-51	7.0	—	—	—	46.2	24.6	1.13	—	—	—	12	44
lICkgz1	51-71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Omz2	71-94	7.5	—	—	—	57.1	—	—	—	—	—	11	44
lICkgz2	94-165	—	—	—	—	—	—	—	5.0	62.0	33.0	—	—
Y7. Terric fibric organic crysol													
Of	0-31	2.7	—	—	—	0.1	54.9	0.41	—	—	—	80	100
Ofz1	31-40	3.2	—	—	—	2.7	54.4	0.51	—	—	—	68	87
Ofz2	40-53	3.9	—	—	—	4.6	60.6	0.80	—	—	—	70	98
Omz	53-84	6.7	—	—	—	25.1	39.7	1.21	—	—	—	28	43
lICkgjz	84-122	—	—	—	—	—	—	—	9.0	74.0	17.0	—	—



glacial rebound is indicated by abandoned beaches, alluvial layers, and marine sediments covered by peat. An examination of maps from the 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> centuries in comparison with recent maps indicates that this rebound is a continuous process which currently operates at a rate of 1.0 to 1.3 m per century (Simpson, 1972). The emergence of the York Factory peninsula, however, cannot be regarded as simply the result of glacial rebound. Sedimentation in the estuaries of the Hayes and Nelson rivers has also contributed to the emergence of the land and to the seaward development of Marsh Point. Channel erosion due to channel shifting has further modified the terrain. Biological processes have resulted in the slow but continuous deposition of peat on the landscape. The peat deposit has increased in thickness with time and has formed a number of unique types of organic landforms. The good insulating capacity of the peat has provided a favorable thermal condition for the development of permafrost. Cryogenic processes (the development of permafrost) have further shaped the landscape. Ice build-up in the sub-soil has caused abandoned beaches to be further elevated and drained and has led to the development of palsas and peat plateaus.

The terrain development along a base line located on the Hayes River side of the peninsula is shown in Figure 1. Low marshes occur along the coast below the mean high tide and are exposed during the low tide stage; tidal channels provide drainage (Fig. 2A). Their vegetation is composed of salt-tolerant species such as mare's tails (*Hippuris* spp.) and spike rushes (*Eleocharis* spp.). High marshes (Fig. 2B) are located above the mean high tide level and are inundated mainly during flood tides. These high marshes are well vegetated, dominantly by sedges (*Carex* spp.), cotton grasses (*Eriophorum* spp.), arrow grasses (*Triglochin maritima* and *T. palustris*) and occasional small clumps of willows (*Salix* spp.). This corresponds to the meadow zone described by Ritchie (1957).

Immediately inland from the high marshes is a transitional area composed of an alluvial plain with intermittent high marshes. This area, described as a shrub zone by Ritchie (1957), is covered with thick willows (*Salix* spp.) and inundated only during spring floods. When the flood waters recede, only depression areas maintain the marsh characteristics. Peat development begins in this transi-

tional area approximately 600 years after it emerges from Hudson Bay (Fig. 1).

Large areas beyond this alluvial plain-high marsh unit are covered by horizontal fens, the most common terrain type of the peninsula. This area is subdivided into two units in Figure 1: the younger horizontal fen-palsa fen-beach unit and the older horizontal fen-palsa fen unit (Fig. 2C). The lack of beaches in the latter unit is accidental; the transect happened to cut through an area where no recognizable beaches were present. The vegetation can be divided into three zones on these units: willows (*Salix* spp.) (younger part), stunted tamarack (*Larix laricina*) (older part), and stunted white spruce (*Picea glauca*) and tamarack (*Larix laricina*) (oldest part). These vegetation zones correspond to the invading forest zone described by Ritchie (1957). In this horizontal fen zone, permafrost first develops and is associated with beaches and palsa fens. Since most of the fens have a high water table, usually above the surface, permafrost develops on those areas which are slightly elevated above the water table. Flood waters from the Hayes River periodically inundate this area as is indicated by the alluvial layers within the peat and by occasional ice-rafted rocks and boulders found on the surface of the fens and palsas. This periodic inundation is very important for maintaining the minerotrophic characteristics of these peatlands.

When the peat surfaces are not affected by minerotrophic waters, the fens are slowly overtaken by bogs. Peat plateaus (Fig. 2D) and palsa bogs are the dominant peatland types. They begin to develop on the Hayes River side of the peninsula approximately 2000 years after the land emerges from Hudson Bay but on the Nelson River side development begins approximately 1000 years after emergence. The earlier development of palsa and peat plateau bogs on the Nelson River side of the peninsula is related to the lack of flood waters and thus an ombrotrophic environment has been established much earlier. The vegetation in this unit is black spruce (*Picea mariana*), ericaceous shrubs and *Sphagnum* mosses and corresponds to Ritchie's (1957) mound topography zone.

### Soil development

The seaward progression of Marsh Point due to active glacial rebound is approximately 6 m per year (Simpson, 1972). This



A



B

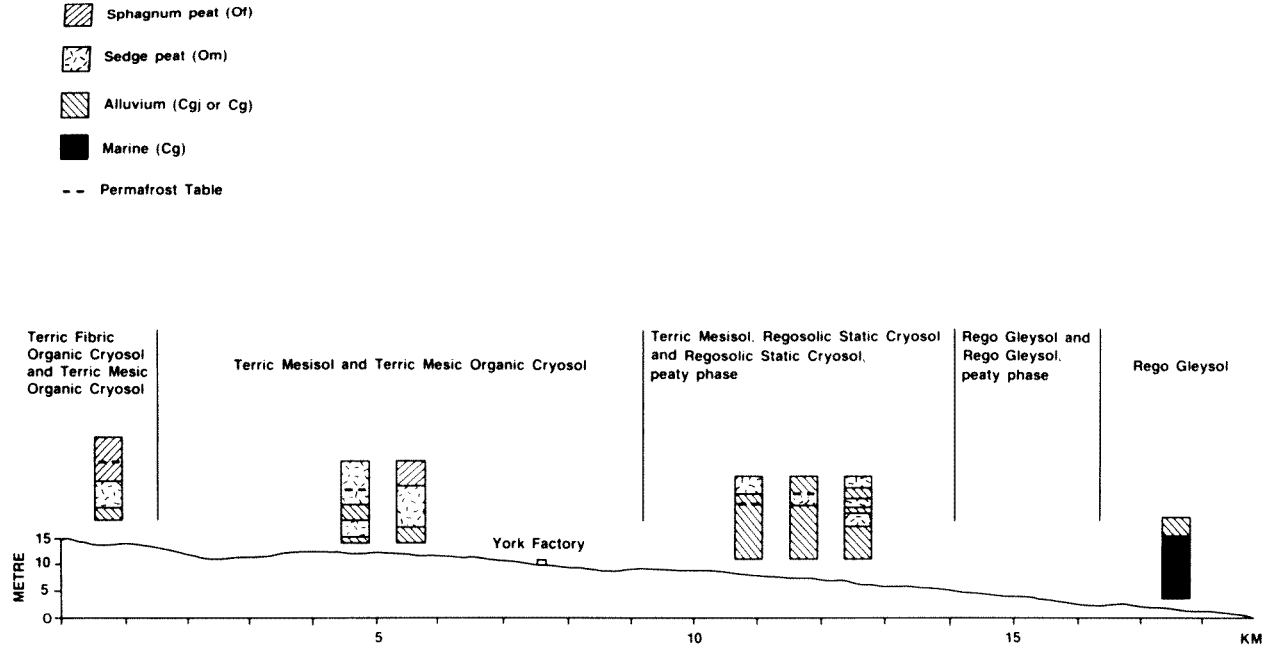


C



D

Figure 2. Major terrain types occurring on the York Factory peninsula (A) low marsh; (B) high marsh; (C) horizontal fen and palsa fen; and (D) peat plateau.



Soil pedon no.	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1
Total thickness peat (cm)	84	74	80	20	11	42	0
pH range	2.7-3.9	5.6-7.0	6.6-7.3	7.1-7.2	7.0-7.4	7.4-7.6	7.6-7.7
pH of the surface horizon	2.7	5.6	6.6	7.1	7.4	7.6	7.6
Ash content of the surface horizon (%)	0.1	11	29	37	69	31	-

Figure 3. Soil development along the surveyed base line in the York Factory peninsula. The soil development is characterized by increasing peat thickness and permafrost and by decreasing pH and ash content with age.

TABLE II  
Chemical and physical analysis of soils along the base line on the York Factory peninsula

Horizon	Depth cm	Colour (moist)		Mineral material and texture		Peat material	Structure
				A: alluvium	M: marine		
Ckg	0-26	5Y	G/1	Y1. Rego gleysol		—	structureless
IIcKg	26-58	5GY	5/1	loam A.		—	structureless
				silt loam M.		—	structureless
				Y2. Terric mesisol			
Om1	0-15	10YR	3/1	—		sedge	fibered
IIcKg1	15-26	2.5Y	6/2	silt loam A.		—	structureless
Om2	26-37	10YR	2/1	—		sedge**	fibered
IIcKg2	37-45	10YR	2/1	silt loam A.*		—	structureless
Om3	45-61	10YR	2/1	—		sedge**	layered
IIcKg3	61-69	10YR	5/2	sand A.		—	structureless
IIcKg4	69-86	5Y	6/1	silt loam A.		—	structureless
				Y3. Regosolic static cryosol			
Ckgj1	0-13	10YR	4/2	silt loam A.*		—	structureless
Ckgj2	13-17	10YR	3/2	silt loam A.		—	structureless
Ckgj3	17-20	10YR	3/1	silt loam A.		—	structureless
IIOmz1	20-26	10YR	3/1	—		moss-sedge	fibered
IIOmz2	26-31	10YR	3/1	—		moss-sedge	fibered
Ckgj4	31-38	10YR	3/1	silt loam A.		—	structureless
Ckgz	38-158	5Y	5/2	silt loam A.		—	structureless
				Y4. Regosolic static cryosol, peaty phase			
Om	0-20	10YR	2/1	—		feather moss-wood	fibered
Ckgj	20-31	10YR	6/3	silt loam A.*		—	structureless
Ckgjz1	31-48	10YR	3/2	silt loam A.*		—	structureless
Ckgjz2	48-64	10YR	6/3	silt loam A.*		—	structureless
				Y5. Terric mesisol			
Of	0-32	10YR	3/1	—		sphagnum	fibered
Om1	32-52	10YR	3/2	—		sedge**	layered
Om2	52-80	10YR	4/1	—		sedge**	layered
IIcKg	80 plus	5Y	5/1	silt loam A.			
				Y6. Terric mesic organic cryosol			
Om1	0-18	10YR	4/4	—		feather moss	fibered
Om2	18-38	10YR	3/1	—		sedge	layered
Omz1	38-51	10YR	2/2	—		sedge**	layered
IIcKgz1	51-71	2.5Y	4/2	silty clay loam A.*		—	structureless
Omz2	71-94	10YR	4/1	—		sedge**	layered
IIcKgz2	94-165	5GY	5/1	silty clay loam A.*		—	structureless
				Y7. Terric fibric organic cryosol			
Of	0-31	10YR	5/4	—		sphagnum	fibered
Ofz1	31-40	10YR	4/4	—		sphagnum	fibered
Ofz2	40-53	10YR	2/2	—		woody forest and sphagnum	fibered
Omz	53-84	10YR	2/2	—		sedge**	layered
IIcKgjz	84-122	10YR	6/1	silt loam A*		—	structureless

\* With thin layers of peat.  
\*\* With thin layers of alluvium.

causes new surfaces to be continuously exposed and provides a gradient for soil development with relatively young soils occurring close to the Hudson Bay shore and progressively older soils occurring further inland. The soils studied on the York Factory peninsula, along the base line shown on Figure 1, represent a time span of approximately 2100 years.

The youngest soil, a rego gleysol found in the Marsh Point area (Fig. 3, soil Y1), is strongly gleyed and has no organic surface horizon (Table I, soil Y1). The conductivity, total soluble anions and sodium concentration are high. The conductivity was found to be 3.28 mmhos/cm in the C<sub>kg</sub> horizon and 5.78 mmhos/cm in the IIC<sub>kg</sub> horizon; the sodium concentration in these horizons was 23.5 me/l and 37.8 me/l, respectively. The IIC<sub>kg</sub> material of this rego gleysol soil is marine in origin. The surface horizon, on the other hand, is alluvium but it is greatly influenced by the tides. This soil is very strongly calcareous and mildly alkaline (Table II, soil Y1). This type of soil is characteristic of both the low and high marshes.

On the York Factory peninsula peat formation begins approximately 600 years after the land emerges from Hudson Bay. The soil at this stage is still classified as a rego gleysol but it has a thin surface peat layer (peaty phase) (Fig. 1). Further inland the soil forming processes are dominated by the increased development of peat and permafrost along with a decrease in the soil pH (Fig. 3). Peat deposition is relatively rapid in wet areas and over a period of approximately 400 to 600 years these peaty phase gleysols have developed into organic soils (terrific mesisols) (Fig. 1).

These terrific mesisols (Fig. 3, soils Y2 and Y5) are associated with horizontal fens and the soils have thin alluvial layers resulting from inundation (Fig. 3 and Table I, soils Y2 and Y5). The peat is moderately to strongly calcareous, has a high ash content, and has a pH which varies between 7.4 and 7.6 (Table II, soils Y2 and Y5).

At approximately the same time as peat is developing on the soil surface, permafrost is developing in locations which are slightly elevated above the surface water level (abandoned beaches). In some fens small mounds, possibly elevated by frost heave, serve as points of origin for permafrost development. Peat deposition is much slower on these perennially frozen soils than on the

horizontal fens. It appears, however, that peat development is even slower on *palsa* fens than on the beaches and thus the soils now associated with the *palsa* fens are regosolic static cryosols (Figs. 1 and 3, Table I, soil Y3) while those associated with abandoned beaches are regosolic static cryosols, peaty phase (Figs. 1 and 3, Table I, soil Y4). These soils (Y3 and Y4) are composed of alluvial layers interbedded with thin peat layers. Both types of soil are strongly calcareous and pH values vary between 7.0 and 7.5 (Fig. 3, Table II).

Further inland, in the horizontal fen and *palsa* fen zone, the peat is even thicker (Fig. 3). The soils associated with *palsa* fens are terric mesic organic cryosols and not the regosolic static cryosols that are found closer to the seacoast (Fig. 3, soil Y6). A further drop in the pH (the surface peat becomes acidic) and a slight drop in the ash content of the surface peat are characteristic (Fig. 3 and Table II, soils Y5 and Y6). This is due to less frequent inundation by the Hayes River. The decrease in pH and ash content is especially noticeable on soil Y6, a terric mesic organic cryosol associated with *palsa* fens (Fig. 3, Table II). These *palsas* are 70 to 100 cm higher than the surrounding horizontal fen surface and thus are probably even less frequently inundated than are the fens.

Areas elevated beyond the effect of the minerotrophic waters by peat buildup and permafrost development are associated with terric fibric organic cryosols (Y7) and terric mesic organic cryosols (Figs. 1 and 3). There is a significant drop in pH, especially in the surface peat, which coincides with a decrease in the calcium level (Table II, soil Y7). The development of these soils began approximately 2000 years after the land emerged from Hudson Bay.

Soils on the Nelson River side of the peninsula occur in the same sequence as described above, but the stages of development take place much more rapidly due to the lack of inundation. Mesisols and organic cryosols close to the Nelson River shoreline lack alluvial layers. Because of this lack of inundation, an acidic (ombrotrophic) environment develops much faster and organic cryosols associated with peat plateaus and *palsa* bogs have developed in approximately half the time required for those on the Hayes River side of the peninsula.

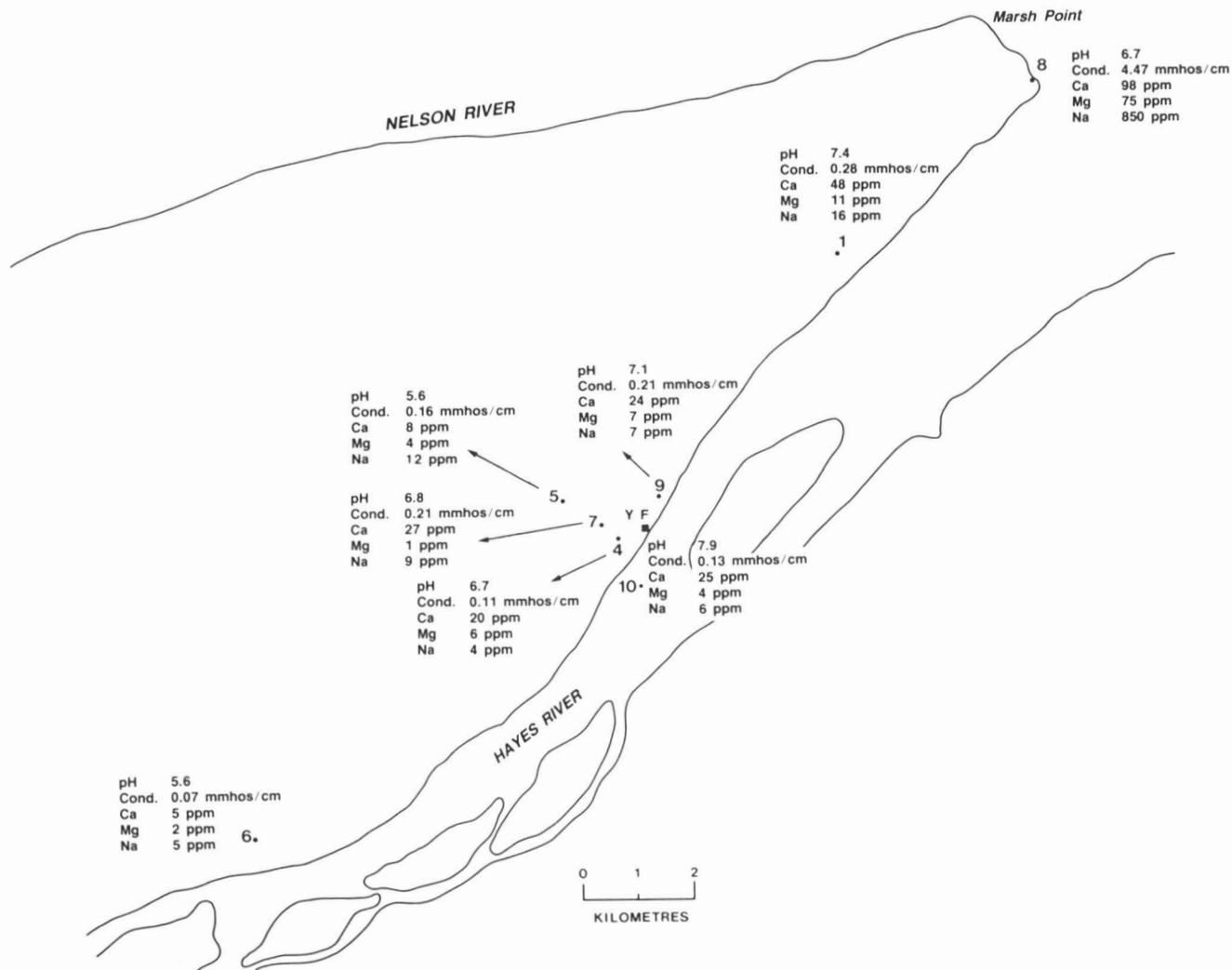


Figure 4. Location of water sample sites and distribution of pH, conductivity, calcium, magnesium and sodium on the York Factory peninsula.

### Chemical composition of water

Water chemistry has an important role in the development of organic soils and peatlands. The type of vegetation that develops, and thus the type of peat resulting from this vegetation, are both determined by the pH of the water and its calcium and magnesium content and conductivity.

Water samples were taken in late June and throughout July, 1969 from pools of water occurring along two transects (Fig. 4). The first transect ran inland from the Hudson Bay coast (sites 8, 1, 9, 4 and 6) and the second transect ran inland from the shore of the Hayes River (sites 4, 7 and 5).

Water samples from both transects show a decrease in pH and calcium and magnesium content inland from the shores of Hudson Bay and the Hayes River. Although the sodium content and conductivity also decreased along the first transect, the reverse occurred along the second transect where an increase was noted.

The highest concentration of nutrients, especially sodium (850 ppm), was found at site 8 under the low marsh terrain on Marsh Point (Fig. 4). The soils at this site are rego gleysols with no surface peat layer. From sites 1 to 9 and then to 4, there is a gradual decrease in pH and calcium, magnesium and sodium content (Fig. 4). Sites 1, 9 and 4 are all located on horizontal fens and the associated soils are terric mesisols.

The water sample taken from a pool of water in a peat plateau bog at site 6 (Fig. 4) showed the lowest pH and concentration of nutrients when compared to all other sites. The values (site 6), however, are still higher than those reported for ombrotrophic bogs situated further inland in the Hudson Bay lowland (Sjörs, 1963). Site 6 is probably still influenced by some minerotrophic waters from the underlying sediments.

On the second transect (Fig. 4) sites 4 and 7 both occur on horizontal fens with terric mesisols. Site 5, on the other hand, is located on a small palsa bog. Although there is a decrease in pH and calcium and magnesium content from the shore of the Hayes River inland, it is interesting to note that the sodium content and conductivity of the water increases.

The water of the Hayes River, sampled at low tide (Fig. 4, site 10), showed a moderate amount of calcium and low amounts of

magnesium and sodium. The pH, on the other hand, was high (7.9).

### Conclusion

Active glacial rebound continuously elevates the peninsula (1.0 to 1.3 m per century), leading to the seaward progression of Marsh Point (6 m per year). This provides a gradient for the study of soil and terrain development with relatively young soils and terrain types occurring in the Marsh Point area and older soils occurring further inland.

The poor drainage characteristics of the peninsula give rise to wetlands, and gleysolic and organic soils develop. The development of permafrost further modifies both the terrain and soils, and generates perennially frozen peat landforms and cryosolic soils. Thus, in the most recent part of the peninsula (Marsh Point) the effect of coastal processes causes low and high marshes to develop in association with rego gleysols. Approximately 600 years after the land emerges from the sea, surface peat begins to develop and the land comes increasingly under the influence of fluvial processes instead of coastal processes. As a result of this, alluvial deposition takes place. At this stage the terrain is an alluvial plain although some marshes still remain in depressions. The associated soils are mainly rego gleysol, peaty phase. After this stage (which is very short lived) the rate of peat development increases rapidly, especially in wet areas where horizontal fens develop in association with terric mesisols. On slightly elevated areas permafrost development begins and regosolic static cryosols and terric organic cryosols develop in association with former beaches and palsa fens. At this stage fluvial processes still contribute alluvium and thus the minerotrophic environment is maintained. The frequency of inundation, however, slowly decreases with distance from the coast and rise in elevation, resulting in a slow decrease in pH and calcium and magnesium content. At approximately 2000 years after emergence on the Hayes River side and approximately 1000 years on the Nelson River side of the peninsula the development of ombrotrophic, perennially frozen peatlands accelerates. Peat plateaus and palsa bogs are common and the associated soils are terric fibric organic cryosols and terric mesic organic cryosols.

### Acknowledgments

Support for the 1969 field work was provided by the University of Manitoba and for the 1970 field work by the Manitoba Soil Survey. Special thanks are due to R.W. Newberry who arranged the financial support for the first field season, and whose enthusiasm for the York Factory area provided the foundation for this work. Special thanks also to S.C. Zoltai, who was also involved in the field work, for the numerous discussions which led to the formulation of the model concerning the development of soils and organic terrain in the York Factory peninsula.

### References

- BALLANTYNE, R. M., 1848. Hudson's Bay or everyday life in the wilds of North America. — Blackwood and Sons, Edinburgh and London, 328 p.
- CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE, 1978. The Canadian system of soil classification. — Res. Br., Can. Dept. Agric., Publ. no. 1646, 164 p.
- MACFARLANE, I. C., 1969. Muskeg engineering handbook. — Muskeg Subcommittee of N.R.C., Univ. of Toronto Press, 297 p.
- McKEAGUE, J. A. (ed.), 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. — Can. Soc. Soil Sci., 212 p.
- RITCHIE, J. C., 1957. The vegetation of northern Manitoba II. A prairie on the Hudson Bay lowlands. — *Ecology*, 38:429-435.
- SIMPSON, S. J., 1972. The York Factory area, Hudson Bay. — Ph.D. thesis, Dept. Geography, Univ. Manitoba, 293 p.
- SJÖRS, H., 1963. Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario. — *Bull. natn. Mus. Canada*, no. 186, p. 45-133.
- TARNOCAI, C., 1970. Soils of the York Factory area. — *Can. Dept. Agric.*, 44 p.
- TARNOCAI, C., 1980. Canadian wetland registry. — Pages 9-38 in C.D.A. Rubec & F.C. Pollett (eds.). *Proc. of a Workshop on Canadian Wetlands*, 90 p.
- WEIR, T. R. (ed.), 1960. Economic atlas of Manitoba. — Dept. Ind. Comm., Province of Manitoba, 81 p.
- ZOLTAI, S. C., 1978. A portable sampler for perennially frozen stone-free soils. — *Can. J. Soil Sci.*, 58: 521-523.



## NUTRIENTS IN SUBARCTIC WOODLAND SOILS

T. R. MOORE

Department of Geography, McGill University  
805 Sherbrooke Street West, Montréal, Québec H3A 2K6

### Résumé

Les sols des pessières à cladonie subarctiques sont très acides et pauvres en éléments nutritifs, avec de faibles apports et pertes de la colonne de sol. Une grande partie du N, P et K est contenue dans la matière organique du sol, dont le taux lent de décomposition est relié au pH peu élevé, aux faibles quantités de C et de N disponibles et aux températures fraîches du sol. Les taux de décomposition de litière sont variables : au cours d'un an, on a mesuré des pertes de poids de 13% pour le lichen, de 29% pour les aiguilles d'épinette et de 40% pour les feuilles de bouleau. La plus grande partie de la perte (55 à 99%) se produit entre la mi-septembre et la mi-juin. Les incendies jouent un rôle important dans l'écosystème, mais seulement de petites quantités d'éléments nutritifs (15 kg/ha) sont libérées par les cendres. La plupart des éléments nutritifs sont concentrés sous le branchage des épinettes et sont retenus par la colonne de sol, produisant dans la pessière des « îlots » riches en éléments nutritifs. La solution de lessivage des cendres de lichen est acide et stimule le déplacement du Ca, Mg et K hors de la colonne de sol ainsi que le transfert du P des horizons organiques vers les horizons minéraux. Ceci résulte en un appauvrissement plus prononcé des sols de la pessière à cladonie.

### Abstract

The soils of subarctic spruce-lichen woodlands are very acid and nutrient-deficient with low inputs to and losses from the soil column. Much of the available N, P and K is tied up in the soil organic matter, whose slow rate of decomposition is related to the cool soil temperatures and the low pH and low amounts of available C and N in the soil. Rates of litter decomposition are variable, weight losses of 13% lichen, 29% spruce needles and 40% birch leaves occurring during 1 year with much (55 to 99%) of the loss occurring in the period from mid-September to mid-June. Fire plays a major role in the ecosystem, but only small quantities of nutrients are released from the ash (15 kg/ha). Most of these nutrients are concentrated beneath the spruce canopies, and retained by the soil column, producing nutrient-rich "islands" in the woodland. The leachate of the lichen ash is acid and promotes the removal of Ca, Mg and K from the soil column and the transfer of P from the organic to subsoil horizons, further depleting the nutrient status of the woodland soils.

### Introduction

Spruce-lichen woodlands dominate on well-drained, sheltered sites in the subarctic of eastern Canada. These woodlands are comprised of black and white spruce trees (*Picea mariana* and *Picea glauca*) at densities of 500 to 5,000 stems/ha, with an understory of dwarf birch (*Betula glandulosa*) and Labrador tea (*Ledum groenlandicum*). The ground flora consists of lichens, especially *Cladina stellaris*, ericaceous plants, such as *Vaccinium uliginosum*, and mosses, such as *Dicranum fuscescens* and *Hylcomium splendens*. The biomass ranges from 15,000

to 50,000 kg/ha, of which up to 70% is spruce trees.

The soils beneath the woodlands are mainly dystric brunisols or humo-ferric podzols. Although the work reported here was carried out near Schefferville, studies at Fort Chimo, Cambrian Lake, Caniapiscaw and along the Schefferville — Sept-Iles railway suggest that the results are broadly applicable to the Labrador-Québec peninsula (Moore, 1974, 1976, 1978a, 1978b, 1980; Nicholson & Moore, 1977). The organic surface horizons of the woodland soils are thin and contain about 80% of the ecosystem's roots.

This paper summarizes studies on the nutrient status of subarctic woodland soils and controls on the decomposition of organic matter, which have been published elsewhere (Moore, 1980, 1981). Results are also presented on the fate of nutrients released after the woodlands are burned, and the rates of litter breakdown and nutrient release.

### Materials and methods

Details of the methods are given elsewhere (Moore, 1980, 1981), so are only briefly summarized here. Sites on mature spruce-lichen woodlands and a regenerating burn sequence were selected in the Schefferville area. At each site, lysimeters were installed at the base of the organic and Bm horizons, and leachates were collected at approximately weekly intervals during the summer of 1976. At one woodland site, precipitation, stemflow and canopy drip were measured and analyzed for nutrients. At each site bulk soil samples were collected from a 5 × 2 m quadrat, located away from large trees. To evaluate the effect of individual spruce trees on soil properties, surface (0-5 cm) organic samples were collected at distances up to 150 cm away from three trees, in four cardinal directions. Soil samples were analyzed by conventional methods for pH, P extractable in dilute  $\text{NH}_4\text{F}-\text{H}_2\text{SO}_4$ , cations extracted by neutral 1N ammonium acetate, total N by Kjeldahl digestion and available ammonium and nitrate by extraction with 2N KCl (McKeague, 1978).

Rates of organic matter decomposition in L and H horizons were measured by incubating samples at 1, 12 and 20 C for three weeks. Decomposition at 12 C was also measured with additions of a *C. stellaris* leachate, CaO to raise the pH to 7-8, calcium as  $\text{CaCl}_2$ , ammonium as  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , nitrate as  $\text{NaNO}_3$ , N as urea, carbon as sucrose, magnesium as  $\text{MgCl}_2$ , potassium as KCl and phosphorus as  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Carbon dioxide evolution was measured by absorption in 1N KOH (Bundy & Bremner, 1972).

Litter decomposition was monitored by placing 5 to 10 g samples of Borregaard cellulose, spruce needles, birch leaves and *C. stellaris* in 1 mm mesh nylon bags. The bags were placed on either the top or the base of the lichen mat at a woodland site, and selected bags were retrieved after 12 months and the remaining litter was weighed

and analyzed for nutrients after digestion in a strong  $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{HClO}_4$  mixture. Remaining weight and nutrient concentration are combined to give the amount of each nutrient remaining after one year's decomposition.

The post-fire release and redistribution of nutrients was investigated by ashing tissue samples at 500 C for 2 minutes; nutrient loss during ashing was measured by digesting a subsample of the ash in strong acids. The ash was leached with five 58 mm increments of distilled water and the leachate analyzed for nutrients; the 290 mm of water approximates the average June to September rainfall at Schefferville. The leachate was then passed through columns of the organic (LFH) and subsoil (Bm or Ae, Bf, C) horizons; two subsoil samples were used, one representing a dystic brunisol (Bm) on iron-rich till near Schefferville and the other a humo-ferric podzol (Ae, Bf, C) on fluvio-glacial sand near Sept-Iles.

### Results and discussion

The soils beneath subarctic spruce-lichen woodlands are very acid (pH 3.8 to 4.2), have a low base saturation (about 10%), have small concentrations and amounts of exchangeable cations, have high C:N ratios (40:1 to 60:1) and low concentrations and amounts of available P and N (Moore, 1980). This acidity and nutrient deficiency is most pronounced beneath the *C. stellaris* mat, but improves beneath the spruce trees. The trees act as the main nutrient accumulators and cyclers within the ecosystem, drawing much of the woodland's biomass and nutrients into a relatively small area, generally 10 to 40% of the woodland. Litter fall and canopy drip improves the nutrient status of the soil beneath the spruce canopies. The low nutrient status of the soils correlates with the acute to moderate deficiency of N, P and Mg in spruce needles, as reported by Rencz (1976).

The nutrient inputs from precipitation, canopy drip and stemflow to a woodland soil are low (<10 kg/ha/a), as are the outputs as recorded by lysimeters (Moore, 1980). Although spruce canopy drip contains relatively large concentrations of nutrients, it does not form a dominant part of the inputs because the spruce canopies occupy only a small area of the woodlands. When compared to the amounts of nutrients available in the soil organic horizons, the inputs and

outputs form a significant source of nutrients, emphasizing the oligotrophic nature of these soils.

A considerable proportion of the ecosystem's nutrients are contained within the soil organic matter: at one woodland site, 60% N and 20% P and K are found in the soil LFH horizons. Comparisons of net primary productivity and soil organic matter produce 'k' values of about 0.1, suggesting that the rate of organic matter decomposition is slow (Moore, 1978a). The incubation experiment provides information on the major controls on soil organic matter decomposition. Temperature is a major limitation, with  $Q_{10}$  values of 2.0 to 2.3; summer temperatures beneath the lichen mat at Schefferville rarely rise above 15°C. Additions of N (as ammonium, nitrate or urea) and readily available C (as sucrose) and raising the pH to 7-8 produce pronounced increases in decomposition of the soil organic matter. Other macro-nutrients (Ca, Mg, K, P) and lichen extracts appear to be of little importance (Moore, 1981). Low mesofaunal populations may also reduce the decomposition rate (Lucarotti, 1981). Thus, the coldness of the soils beneath the lichen mat, and the low concentrations of readily-available nutrients and carbon in the plant tissue contribute to the build up of a large reservoir of nutrients in the slowly decomposing soil organic matter.

In the absence of major inputs to the soil from the atmosphere or weathering, litter decomposition is likely to be an important control on nutrient availability and cycling. Figure 1 shows the changes in weight and nutrient content of cellulose, spruce needles, birch leaves and lichen over a period of 12 months, for litter bags both on the surface of the lichen mat and beneath it. Caution should be exercised when extrapolating the results of one year's decomposition.

Borregaard cellulose represents a standard material which can be used to compare decomposition rates in different ecosystems. The cellulose strips lost 12 and 21% of their weight over the 12 months, on top and beneath the lichen mat, respectively. These figures are slightly higher than or similar to decomposition rates found in other subarctic and arctic ecosystems (Rosswall, 1974).

The birch leaves decomposed rapidly, losing 37 and 43% of their weight, whilst the lichen lost only 11 and 16%; the spruce needles decomposed at an intermediate rate,

losing 29 and 30%, on top of and beneath the lichen mat, respectively. In general, there is little difference between decomposition rates on top of and beneath the lichen mat.

One interesting feature is that much of the litter weight loss occurs during the winter period from mid-September to mid-June. Between 55 and 99% of the 12 months' weight loss occurred during the winter, the highest values being recorded for the birch leaves which were laid out in September, whereas the cellulose, spruce needles and lichen were laid out in June. Although significant winter litter weight losses have been noted elsewhere (Bleak, 1970), it shows that we cannot disregard biological and soil activities beneath the snowpack. A study is being undertaken to determine during which part of the winter most of the loss occurs.

The birch leaves lost a large proportion of all 5 nutrients, the greatest loss being recorded for K and the least for Ca and N. Major, but smaller, losses of P, K, Ca and Mg also occurred from the spruce needles, but the spruce needles show an increase in the amount of N.

As shown by the standard error bars in Figure 1, the lichen samples show a higher degree of replicate variability than either the spruce needles or birch needles. Whilst it is clear that the lichen samples gain N, for the samples both on and beneath the lichen mat, the variability is too large for other elements to be able to state whether there are significant gains or losses of P, K, Ca and Mg.

This study shows, then, that the environment produces a slow rate of decomposition of cellulose strips, and that there are differences in decomposition rate between litter types, in the sequence: birch leaves > spruce needles > lichen = cellulose. This is strongly related to the concentration of nutrients in the original tissue (Table I). Birch leaves rapidly lose their nutrients, whilst lichen tends to retain them and increase N; spruce needles lose some of their nutrients, but show an increase in N. The increase of N in nutrient-poor litters has been recorded elsewhere (Aber & Melillo, 1980) and can be ascribed to either N fixation from the atmosphere or immobilisation of N from the soil. It helps to explain the poor nutrient status of the subarctic woodland soils.

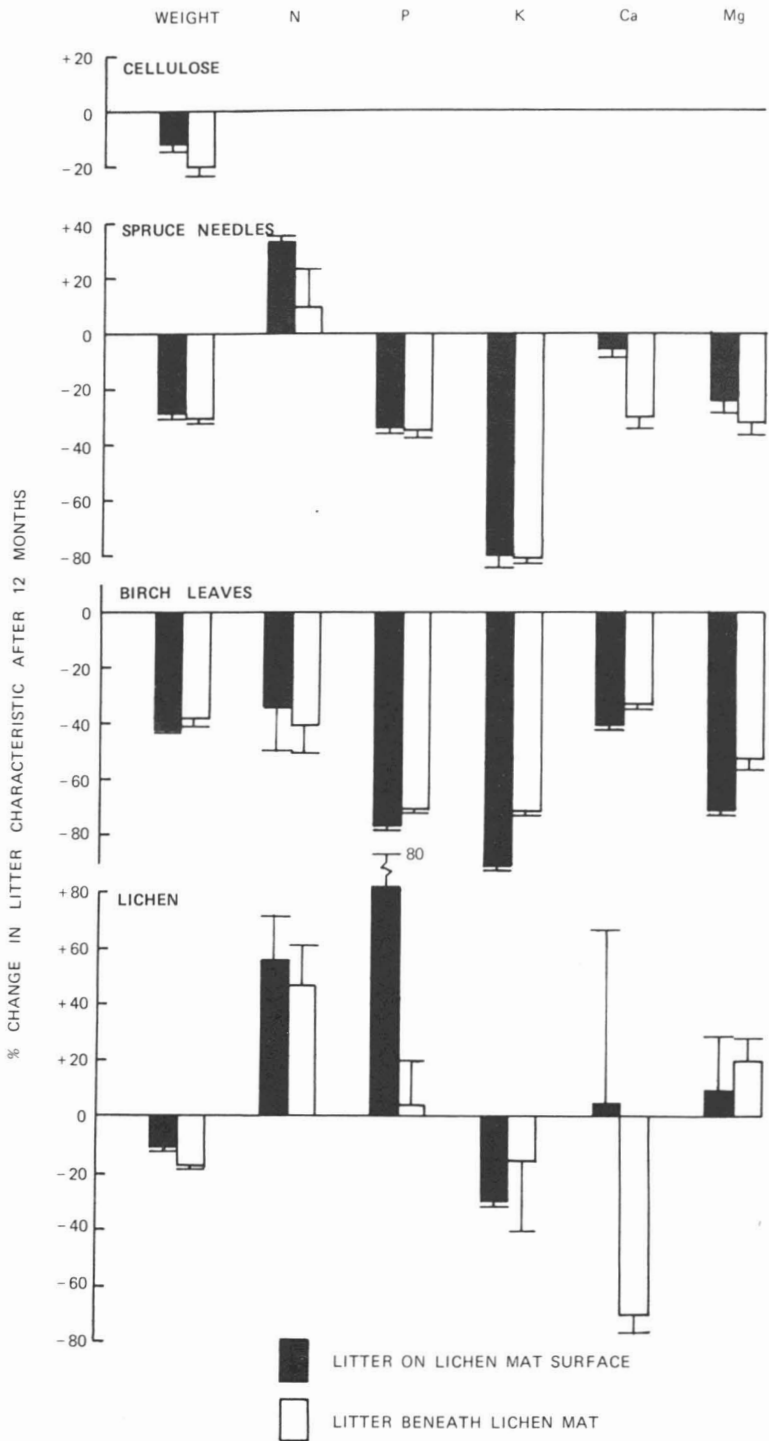


Figure 1. Changes in the oven-dry weight and macro-nutrient content of cellulose, spruce needles, birch leaves and lichen after 12 months in a spruce-lichen woodland. The bar by each value indicates the standard error of the mean.

TABLE I

Concentration of nutrients in the original oven dry (105°C) tissue used in the litter study

Tissue	Nutrient (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Spruce needles	0.50	0.08	0.27	0.30	0.04
Birch leaves	0.75	0.20	0.28	0.32	0.14
Lichen	0.19	0.03	0.08	0.03	0.01

Fire can occur readily in the woodlands: over half of the woodlands in the Scheffer-ville area have been burnt in the past 25 years. The rapid summer drying of the lichen mat provides an inflammable ground cover, and the branches, bark and needles of the spruce trees are scorched. Based on fuel loadings, woodland fires are of a low intensity, probably 1 to 100 kW/m (Methven 1977). The moist state of the soils beneath the lichen mat means that, in Labrador-

Québec, the soil horizons are generally unaffected by the fire (Rouse, 1976). Post-fire regeneration is very slow, with only dwarf birch able to quickly respond; up to 100 years may be required to allow regeneration into a mature woodland.

Measurements made at adjacent burn and mature woodland sites show that the fire has little effect on the nutrient status of the soil. Away from spruce trees, the pH rises by up to 0.5 units and there are increases in base saturation, exchangeable bases and available P. Leaching losses from recent burn sites are slightly higher than before the burn, but still are <10 kg/ha/a (Moore, 1980). The changes in soil properties and losses are much smaller than observed in other ecosystems (Grier, 1975; Stark, 1977).

The laboratory experiments on tissue ignition and ash leaching provide information on the post-fire fate of nutrients within a woodland (Table II). Even at 500°C, little Ca, Mg, K or P is volatilized from the spruce needles,

TABLE II

The redistribution of nutrients within the soil column, following ignition of the three tissues at 500°C for 2 min<sup>1</sup>

Tissue type	Nutrient (kg/ha)						Leachate pH (mean [H <sup>+</sup> ])
	K	Na	Mg	Ca	P <sup>2</sup>	N <sup>3</sup>	
<i>Spruce needles</i>							
Tissue	11.34	0.60	3.23	4.73	4.58	27.40	n/a
Ash leachate	8.85	0.03	0.68	1.48	0.72	<0.2	7.4
LFH leachate	4.36	0.74	0.14	0.17	0.96	<0.1	5.5
Brunisol leachate	0.87	2.50	0.12	0.08	0.03	nd	5.7
Podzol leachate	1.32	2.42	0.22	0.28	0.01	nd	6.1
<i>Birch leaves</i>							
Tissue	2.79	0.03	0.73	0.15	1.52	7.97	n/a
Ash leachate	1.61	0.01	0.14	0.15	0.16	<0.04	7.7
LFH leachate	0.85	0.31	0.03	0.03	0.24	<0.02	5.5
Brunisol leachate	0.24	0.63	0.04	0.05	0.03	nd	5.8
Podzol leachate	0.27	0.69	0.04	0.05	0.01	nd	6.0
<i>Lichen</i>							
Tissue	4.72	0.41	1.46	0.43	4.00	19.28	n/a
Ash leachate	1.50	0.15	0.04	0.30	0.00	<0.35	6.1
LFH leachate	3.95	1.85	0.31	0.37	1.30	<0.30	5.0
Brunisol leachate	1.82	3.16	0.32	0.24	0.09	nd	6.0
Podzol leachate	2.85	3.55	0.57	0.73	0.10	nd	6.0

<sup>1</sup> Nutrient concentrations in tissues and leachates were converted to an areal basis by taking the following values: spruce needles 3753 kg/ha, birch leaves 320 kg/ha and lichens 6650 kg/ha (from Rencz & Auclair, 1978).

<sup>2</sup> Phosphorus in tissue is total P, that in the leachates is soluble reactive P.

<sup>3</sup> Nitrogen in tissue is total N, that in the leachates is combined inorganic N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -N).

n/a = not applicable

nd = not determined

birch leaves or lichen, but there are major losses of N, at temperatures above 200°C. The volatilization of N could amount to 40 kg/ha/a in a hot fire. Leaching of the 3 ash types with distilled water show that little N is removed, confirming the field observations of low N-availability in post-fire soils. The distilled water is able to remove a large proportion of the bases from the ash, especially Ca and K. Relatively little (0-16%) of the ash P is removed by the distilled water. The ash of spruce needles and birch leaves tends to lose its nutrients. The ash leachate is alkaline (pH 7.4 to 7.7) from spruce and birch, but slightly acid (pH 6.0) from lichen.

Of the Ca, Mg and K leached from the spruce and birch ash, 30 to 90% is absorbed by the organic horizons, displacing H and Na, and a further 10 to 40% is absorbed by the subsoil horizons. Thus, nearly all of the Ca, Mg and K released from the ash is retained in the soil column. The P released from the spruce and birch ash tends to pass through the organic horizons, and slightly more P is removed from the organic horizons than enters them. The subsoils absorb over 90% of the P removed from the organic horizons; the post-fire transfer of P from the ash and organic horizons to the subsoil may be significant, given the concentration of roots in the organic horizons.

The lichen ash leachate shows a different pattern. The concentration of nutrients in the leachate is lower than for spruce and birch, and the leachate promotes the removal of nutrients, especially K, Mg and P from the organic horizons. Although most of the displaced P is absorbed by the subsoil horizons, much of the K and Mg is lost from the soil column. The consequences of burning of the lichen mat, then, are to promote the transfer of P from the organic to subsoil horizons, and to remove Ca, Mg and K from the soil column. These consequences further contribute to the nutrient-deficient nature of the woodland soils, and hinder post-fire regeneration.

The post-fire flush of nutrients released from ash is low (15 kg/ha), and has a strong spatial variation. Beneath the spruce canopies, the soil receives up to 50 kg/ha of Ca, Mg, K and P from the ash, whilst, beneath the lichen mat and dispersed dwarf birch, about 8 kg/ha of nutrients are released from the ash. These nutrient-rich islands would tend to perpetuate the spatial organisation of the woodlands into the post-

fire succession, vascular plant growth being concentrated in the nutrient-rich sites whilst lichen dominates on the more acidic, nutrient-deficient sites.

### Conclusion

Subarctic spruce-lichen woodland soils are very acid and nutrient-deficient, with small inputs to and outputs from the soil. Much of the ecosystem's nutrients, especially N, P and K are held in soil organic matter, whose slow rate of decomposition is related to the cool temperatures, the low pH and the low nutrient content. Litter decomposes in the sequence birch leaves > spruce needles > lichen > cellulose, with over half of the weight loss occurring between mid-September and mid-June. The spruce needles and lichen tend to retain or increase the amount of N and P, rather than releasing them to the soil. Rates of litter breakdown are relatively slow, with much activity occurring during the September-June period. The litter tends to retain much of its N and P, rather than release it to the soil. Although fires have a major impact on the vegetation, they produce only minor increases in nutrient availability in the soil. The post-fire nutrient flush from ash is small, and concentrated beneath the spruce canopies. Leaching of the lichen ash promotes nutrient removal from the organic to subsoil horizons and from the soil column. This tends to maintain the nutrient-deficient nature of the soils and slow post-fire succession.

### Acknowledgment

This work has been supported by a grant from the FCAC program, ministère de l'Éducation, Gouvernement du Québec.

### References

- ABER, J.D. & J.M. MELILLO, 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. — *Can. J. Bot.*, 58: 416-421.
- BLEAK, A.T., 1970. Disappearance of plant litter under a winter snow cover. — *Ecology*, 51: 915-917.
- BUNDY, L.G. & J.M. BREMNER, 1972. A simple titrimetric for determination of inorganic carbon in soils. — *Soil Sci.*, 36: 273-275.
- GRIER, C.C., 1975. Wild fire effects on nutrient distribution and leaching in a coniferous ecosystem. — *Can. J. For. Res.*, 5: 599-607.

- LUCAROTTI, C.J., 1981. The effect of fire and forest regeneration on mesofauna populations and microfungi species in lichen woodland soils. — McGill subarct. Res. Paper, 32: 7-26.
- McKEAGUE, A.J. (ed.), 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. — Can. Soc. Soil Sci., Ottawa, 212 p.
- METHVEN, I.R., 1977. Fire research at the Petawawa Forest Experiment Station: the integration of fire behaviour and forest ecology for management purposes. — Paper presented at the Fire Ecology in Resource Management Workshop, Northern Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Edmonton.
- MOORE, T.R., 1974. Pedogenesis in a subarctic environment: Cambrian Lake, Québec. — Arct. Alp. Res., 6: 281-291.
- MOORE, T.R., 1976. Sesquioxide-cemented soil horizons in northern Québec: their distribution, properties and genesis. — Can. J. Soil Sci., 56: 333-344.
- MOORE, T.R., 1978a. Soil formation in north-eastern Canada. — Ann. Ass. Am. Geog., 68: 518-534.
- MOORE, T.R., 1978b. Soil development in arctic and subarctic areas of Québec and Baffin Island. — Pages 379-411 in Proc. 3<sup>rd</sup> York Quaternary Symp., 508 p.
- MOORE, T.R., 1980. The nutrient status of subarctic woodland soils. — Arct. Alp. Res., 12: 147-160.
- MOORE, T.R., 1981. Controls on the decomposition of organic matter in subarctic spruce-lichen woodland soils. — Soil Sci., 131: 107-113.
- NICHOLSON, H.M. & T.R. MOORE, 1977. Pedogenesis in a subarctic iron-rich environment: Schefferville, Québec. — Can. J. Soil Sci., 57: 35-45.
- RENCZ, A., 1976. The level and distribution of biomass and nutrients in a subarctic woodland. — M.Sc. thesis, McGill Univ., Montréal, 56 p.
- RENCZ, A.N. & A.N.D. AUCLAIR, 1978. Biomass distribution in a subarctic *Picea-Cladonia alpestris* woodland. — Can. J. For. Res., 8: 168-176.
- ROSSWALL, T., 1974. Cellulose decomposition studies on the tundra. — Pages 325-340 in A.J. Holding, O.W. Heal, S.F. MacLean & P.W. Flanagan (eds.), Soil organisms and decomposition in tundra, Tundra biome steering committee, Stockholm, 398 p.
- ROUSE, W., 1976. Microclimatic changes accompanying burning in subarctic lichen woodland. — Arct. Alp. Res., 3: 291-304.
- STARK, N.M., 1977. Fire and nutrient cycling in a Douglas fir/larch forest. — Ecology, 58: 16-30.





Végétation  
*Vegetation*



## SOME UNSOLVED PROBLEMS IN PEATLAND ECOLOGY<sup>1</sup>

E. GORHAM

Department of Ecology and Behavioral Biology  
University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, U.S.A.

### Résumé

À cause de leur caractère autogène et parce qu'elles sont peu étudiées, les tourbières posent plusieurs problèmes majeurs. Le contrôle de la croissance des plantes et de leur décomposition — par conséquent de la formation de la tourbe — par les facteurs du milieu, comme le climat, la topographie, les apports d'éléments nutritifs de l'atmosphère et du sol est mal compris. Les interactions entre la croissance et la décomposition des plantes et l'écoulement des eaux superficielles et souterraines qui modèlent le paysage sont encore plus mystérieuses. Le rôle de la tourbe comme réservoir géochimique est peu étudié et le recyclage n'a pas été analysé à l'aide des techniques modernes. Les flux gazeux sont à peine connus. Les études écologiques des principaux animaux et plantes tourbicoles sont très rares. Ainsi, on ignore si la croissance des espèces de *Sphagnum* est limitée par certains éléments nutritifs particuliers ; les cycles vitaux des espèces importantes sont mal connus et nous n'avons aucune vue d'ensemble quant aux facteurs qui régissent leur répartition et leur association.

### Abstract

Because of their peculiarly autogenous nature, and because they have received much less study than terrestrial and aquatic ecosystems, peatlands pose a number of major problems. The control of plant growth and decay — and hence of peat accumulation — by environmental factors such as climate, topography, and nutrient inputs from the atmosphere and the soil is poorly understood. The delicate interaction of plant growth and decomposition with surface- and ground-water flow to generate complex landscape patterns is even more mysterious. The role of peat as a geochemical sink has not been well worked out, and nutrient cycling has been little studied by modern mass-balance techniques. Gaseous fluxes in particular are poorly known. Autecological studies of the major peatland plants and animals are very scarce, for example it is not known whether the growth rates of the peat-forming species of *Sphagnum* are limited by supplies of specific nutrients. Life histories are not well known for important species of plants and animals, nor do we have more than a broad general understanding of the factors that control their distributions and associations.

### Introduction

Peatland ecology is by no means a new discipline (Gorham, 1953), but in North America the subject is in a primitive state, having received relatively little attention from either academic or applied ecologists. However, interest in the economic potential of exploiting peat, in particular for energy, is increasing greatly (Farnham, 1978), and other values of peatlands are becoming more readily apparent (Greeson *et al.*, 1979). Assessment of how best to utilize, rehabilitate,

or preserve peatlands (Sjörs, 1980) requires a detailed knowledge of their form, function and development in response to the environmental factors acting upon them. Yet we are surprisingly ignorant of many of the fundamental features of peatland ecology.

### Rate of peat accumulation

Peat accumulates at rates determined by the interactive effects of climate, topography and nutrient supply upon the balance between plant growth and decomposition. These rates apparently can vary widely even within a small geographic area; in Britain, Walker (1970) reported a range for 30 ombro-

<sup>1</sup> Contribution no. 239 from the Limnological Research Center, University of Minnesota.

trophic bog peats (where water is supplied only from rain and snow) from 1.2 to 30 cm · century<sup>-1</sup> with a mean value of 6.5 cm. Eight minerotrophic fen peats (receiving water that has percolated through mineral soil) also averaged 6.5 cm · century<sup>-1</sup>. For comparison, Aaby & Tauber (1975) observed a range of 2 to 18.5 cm · century<sup>-1</sup> for peat accumulation in numerous European raised bogs. Brown (1977) cited rates of 2 to 10 cm · century<sup>-1</sup> for northern Canadian peatlands. Unfortunately these data cannot readily be transformed into annual rates of accumulation of organic matter or carbon per unit area because the bulk density of peat varies greatly with organic content and with compaction. Although Sjörs (1961a) noted that relatively uncompacted surface soils over a wide range of organic content and bulk density contain approximately 100 g · l<sup>-1</sup> of organic matter, the data showed a great deal of variance. Moreover, fen peats are often higher and bog peats are lower than 100 g · l<sup>-1</sup>. Data on the influence of auto-compaction upon subsurface peats of different plant origin (such as sedges versus *Sphagnum*) are also lacking, although Walker (1970) indicated that it must be confined to the earliest stages of deposition, and Tolonen (1977) indicated its termination at 30-50 cm beneath the surface in *Sphagnum* bogs. An attempt to analyse the processes of growth, decay, compression and consolidation, and to predict (with a 7-parameter model) bulk density and age profiles of the peat, has recently been made by Clymo (1978) with moderately good success.

There are only local, isolated studies of the rates of accretion of organic matter in peatlands, which varied between 27 and 52 g · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> in a Manitoba bog and fen, and between 25 and 43 g · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> in a Finnish bog. Peat accumulation varied from 3 to 5% of net primary production in the Manitoba site (Reader & Stewart, 1972) and 6 to 10% in the Finnish location (Tolonen, 1977). More general comparisons cannot be made of fens and bogs, or of subgroups within them (such as sedge meadows versus cedar swamps, continental raised bogs versus coastal blanket bogs, bog hummocks versus hollows and pools). Because the rate of peat accumulation is probably one of the most significant integrators of environmental influences upon peat bogs, its response to differences in the ratio of precipitation to evaporation (Kulczynski, 1949), and in the supply of nutrients as windblown dust from cultivated soils (Mattson & Koutler-Anders-

son, 1954; Gorham & Tilton, 1978) or of toxins from urban/industrial air pollution (Rühling & Tyler, 1971), would be of great interest.

There are also very few data on the rate of paludification (swamping) of upland soils by peatland expansion in various climatic regions and topographic settings, despite pioneering studies well over fifty years ago by Malmström (1923). Such studies would be of special interest in the vast peatlands of the Hudson Bay lowlands. North of Upper Red Lake in northern Minnesota, two basal <sup>14</sup>C dates suggest that a long (> 20 km) fen water track, dominated by *Carex lasiocarpa* and bifurcating north and south-eastward around a large complex of black spruce and *Sphagnum* bogs, is extending slowly westward against the direction of flow (Glaser et al., 1981). But it is not known how rapidly the entire mire complex has extended over its present large area, or whether the situation in the fen water track is normal for such areas in northern Minnesota or the Hudson Bay lowlands more than 300 km to the north. Nor can an assessment be made — for these areas — of the climatic and topographic constraints upon bog extension and convexity worked out for Swedish raised bogs by Granlund (1932) and Wickman (195).

Rates of peat accumulation and of paludification are easily (though expensively) measured, and rapid progress can be made in gathering data. If these processes are to be understood, however, much more must be known about how the environmental factors of climate, topography and nutrient supply control both plant growth and decomposition and the balance between them. For instance: (1) Do local and regional differences in peat accumulation depend more on differences in the production rates of the dominant species or upon their rates of decomposition? (2) Are local and regional differences relatively independent of differences in the plant communities, especially in the case of forested versus open bogs?

### Initiation of peat accumulation

Initiation of peat deposition may be governed chiefly by local topography, but paludification of upland soils can occur in response to climatic shifts toward cool, wet conditions (Conway, 1948; Mölder & Salmi, 1955; Heinselman, 1970). A climatic control is particularly likely in the case of ombrotrophic *Sphagnum* peats which grow well

above the level of the normal ground water-table (Nichols, 1969). These *Sphagnum* peats often contain within them one or more "recurrence horizons" of strongly decomposed and humified material, presumably reflecting periods of relative dryness and surface aeration. There has been considerable controversy in Europe as to whether these too reflect regional shifts in climate or merely local changes in bog development (Godwin, 1954; Mitchell, 1956; Ogden, 1960; Overbeck *et al.*, 1957; Schneekloth, 1968; Aaby, 1976). If changes of climate have been chiefly responsible for the initiation of fen or bog peats, or of "recurrence horizons", then it should be possible to demonstrate either synchronous initiation over broad geographic regions, or a sequential pattern in response to a gradual shift in climate across different regions.

The comprehensive and sophisticated studies on peat stratigraphy in Fennoscandia and the British Isles are hampered in the interpretation of the results by the fact that cultural factors may have been dominant in peatland development, as an alternative to climatic change or the progressive leaching of upland soils. In many areas the ombrotrophic *Sphagnum* bogs started their development about the same time (5,000 years ago) as the first farming cultures, and about the same time as the climatic change that is inferred from pollen studies. For North America, the cultural factor was not important until the last century or two, so it should be possible here to evaluate more easily the natural environmental factors in peatland development. Preliminary studies by H. E. Wright and his associates (at the University of Minnesota) in southeastern Labrador imply that peatlands began to develop about 5,000 years ago, probably in response to climatic change, and that they are gradually spreading onto uplands. The general swamping of the landscape has had important secondary effects on forest growth and on the water chemistry of lakes. The extensive northern Minnesota peatlands likewise can be dated to the last few thousand years (Janssen, 1968; Heinselman, 1970), with progressive development westward in combination with the westward migration of conifer forest following the mid-postglacial warm period. The details of these successions, both regionally across eastern and central North America, and locally in areas of steeper climatic gradient (such as Minnesota) can be worked out only with further stratigraphic studies in transects east

to west along climatic gradients. Results should provide insights into the development of *Sphagnum* bogs and patterned peatlands in relation to climate and other environmental factors.

It might be possible in these studies to use deuterium and  $^{18}\text{O}$  in peat as indices to paleoclimate (Schiegl, 1972). Both stable isotopes appear to be related to the relative humidity of the climate and the concentration of stable isotopes in the input water (Epstein *et al.*, 1976, 1977; Ferhi *et al.*, 1977) especially if analyzed in specific macro-fossils (*Sphagnum* leaves, tamarack needles). Changes take place during decomposition of plant detritus, but appropriate corrections can be made by analyzing the carbon content of the organic matter (Schiegl, 1972).

### Landscape patterns

It is well known that *Sphagnum* bogs exhibit a variety of very distinctive landforms that represent an extremely delicate adjustment of vegetation growth to local patterns of water-flow, which in turn may be altered by vegetation growth and concomitant peat deposition. The bogs of eastern North America range from blanket bogs in the most oceanic areas of Newfoundland (Pollett, 1972; Damman, 1979a, b) to excentrically and concentrically domed bogs throughout the Maritime Provinces of Canada and the northern New England States — including both coastal plateau bogs and convex raised bogs farther inland (Damman, 1977). In mid-continental North America the patterns are very different. For instance, strongly patterned black spruce bogs with radiate ridges, and large ovoid bog "islands" separated by sedge-fen "water-tracks" containing small, elongate tamarack "islands", are characteristic of the enormous bog/fen complexes of northwestern Minnesota (Heinselman, 1963, 1970; Glaser *et al.*, 1981). These peatlands resemble in many ways those of the Hudson Bay lowlands (Sjors, 1959, 1961b, 1963) and Alaska (Drury, 1956), and the factors controlling the genesis and development of the landscape patterns are only now beginning to be investigated by appropriate stratigraphic methods.

The relationship of landforms such as palsas and peat plateaus to the distribution of permafrost in Canada is becoming quite well established, and some information has been gathered regarding the climatic require-

ments of temperature and moisture that limit their occurrence (Brown, 1977). Their life cycles of growth and degradation are also being worked out. However, energy exchanges involved in the freeze-thaw process are difficult to measure, and much remains to be done in determining the local causes of landform development and degradation.

The regional abundance of wetlands in Canada, and the regional distribution of wetland and landform types, have recently been mapped for the whole country (Zoltai, 1980; Anonymous, 1981). Such maps will be of great assistance in providing appropriate background for the detailed local studies that are badly needed, and for the working out of climatic controls for the various kinds of wetlands and landforms.

In Europe the west/east gradient from oceanic blanket bogs through raised bogs farther from the coast, and ultimately to the continental flat bogs of the Polésie basin, has been related to regional differences in climate (Kulczynski, 1949), as has the south/north gradient from raised bogs to the "aapa" peatlands of northern Fennoscandia (Sjörs, 1948; Ruuhijärvi, 1960, 1970; Eurola, 1962). Some very interesting work of this kind has also been done in eastern North America (Damman, 1979a, b), but a broad-scale investigation of climatic influences upon the gradients of landscape pattern from mid-continental Minnesota and Manitoba to the oceanic Maritime Provinces remains to be attempted. It is also unfortunate that detailed comparisons of hydrologic budgets for these different kinds of wetlands are lacking.

The role of groundwater hydrology appears to be of considerable importance in mid-continental bogs, as noted by Kulczynski (1949) in eastern Europe (*cf.* Boelter & Verry, 1975). The same is likely to be true in the large peatland complexes of northwestern Minnesota, where seemingly minerotrophic fen "water-tracks" arise in the midst of large areas of raised, radiate and ovoid *Sphagnum*-black spruce bogs (Glaser *et al.*, 1981). One possible cause presently being examined is local upwelling of groundwater, brought about by the generation of small hydrologic heads in water-mounds developed beneath the adjacent raised bogs (Siegel, 1981).

On a much smaller scale of peatland pattern, the classical hypothesis of peat accumulation by the lenticular regeneration of *Sphagnum* hummocks and hollows (Aiton,

1811; von Post & Sernander, 1910; Tansley, 1949; Kulczynski, 1949) has recently come into question (Walker & Walker, 1961; Aartolahti, 1967; Tolonen, 1971; Aaby, 1976). Studies in North America, where human influences upon peat bogs have been of much briefer duration than in Europe, might be of great value in assessing the validity of the classical view. However, such an assessment may require the exposure of peat faces several metres long by a few metres deep (Aaby, 1976), and can best be carried out on bogs about to be exploited for horticultural peat. If the metal chemistry is sufficiently different in hummocks, hollows and pools (Damman, 1978), chemical stratigraphy may reinforce microfossil stratigraphy in providing clues to the spatial persistence of individual microtopographic units over time.

The orientation of anastomosing ridges and troughs (or strings and flarks, as they are often called) across the line of water flow in fen water tracks is another small-scale pattern whose origin is much debated (see references in Schenk, 1970; Glaser *et al.*, 1981). It seems likely that an acceptable resolution of the debate will require the collaboration of botanists interested in the life histories, growth patterns and physiology of the dominant plants, and hydrologists capable of dealing with the influence of microtopography upon patterns and rates of water flow, which in turn influence the supply of oxygen and nutrients to the plants that form the ridges and troughs.

### Biogeochemical cycling

As yet there have been few attempts at a mass-balance analysis of inputs, outputs and storages of nutrients in peatlands, and none in which dry deposition has been measured satisfactorily. Comparing precipitation inputs with stream outputs from an area of blanket bog and eroding peat, Crisp (1966) observed that the outputs of phosphorus and nitrogen in solution were distinctly less than the inputs, but that total outputs — including eroding peat particles — were much greater. For potassium and calcium, outputs in solution greatly exceeded precipitation inputs, presumably because of weathering inputs from the small areas of exposed mineral soil within the drainage basin. Sodium output in solution was almost twice the precipitation input, perhaps for the same reason, but dry deposition of large sea-salt particles could also be involved.

More recently Hemond (1980) observed annual storage rates of magnesium, potassium and lead in the peat of a floating *Sphagnum* mat to be 41, 41, and 85% of precipitation inputs, respectively. For a south Swedish raised bog Damman (1978) reported relative retention of inputs in the ombrotrophic peat to be  $Mg = N \gg Ca > K > Mn > Na$ ; a generally similar order has been inferred by Pakarinen (1981) by comparing retention in living bog moss with that in deep ombrotrophic peat.

Damman (1978) and Pakarinen *et al.* (1981) have demonstrated accumulation of iron, aluminum, zinc and lead within the zone of water-table fluctuation in *Sphagnum* bogs; the latter authors also showed a slightly deeper zone of sulfur accumulation that could perhaps be related to sulfide precipitation in a zone of minimum redox potential (Urquhart & Gore, 1973). Potassium, manganese and copper had maximum concentrations at the bog surface.

In the vicinity of cultivated soils, surface peats may be greatly enriched in lithophile elements by dustfall (Mattson & Koutler-Andersson, 1954) as may the living *Sphagnum* moss (Gorham & Tilton, 1978). The observation that such enrichment may stimulate peat accumulation (Mattson & Koutler-Andersson, 1954) deserves testing in other locations; in this connection the relative effects upon primary production and decomposition ought to be investigated. In contrast, the frequently observed enrichments of bog mosses and recent peats in toxic heavy metals — lead, cadmium, etc. — deposited from air pollution (Rühling & Tyler, 1971; Pakarinen & Tolonen, 1976, 1977), ought to be examined concerning possible negative effects upon production and decomposition. The possible influence of wind-borne sea spray upon such phenomena in coastal bogs might also repay investigation, particularly where the effect is pronounced, for instance in the Falkland Islands (Gorham & Cragg, 1960).

Gaseous fluxes of carbon, sulfur and nitrogen require detailed study in peat bogs, where reduction processes can generate methane and a variety of volatile sulfur and nitrogen compounds. According to Clymo & Reddaway (1972) ratios of carbon dioxide to methane evolution in blanket bog averaged about 8:1 for *Sphagnum* pools and lawns, and 50:1 for hummocks. Carbon losses in solution averaged about 13-25% of gaseous losses. Unfortunately, studies of the evolu-

tion of gaseous sulfur and nitrogen compounds, in both oxidized and reduced forms, have not been published, although some work has been done on the floating *Sphagnum* mat at Thoreau's Bog in Massachusetts (H.F. Hemond, pers. comm.). It is of interest that at that site sulfate reduction and uptake of nitrate have effectively counteracted the effects of 'acid rain' upon the interstitial waters of the peat. The surface waters of peat pools may however be considerably acidified by such means, as shown in ombrotrophic British bogs (Gorham, 1958).

Gaseous fluxes from the vast Hudson Bay lowlands could be of more than local interest. Biogenic emissions of volatile sulfur compounds from anaerobic soils and peats are hypothesized to be an important part of the global sulfur budget, and the chronosequence from sulfur-rich coastal salt marshes to inland fens and bogs deserves investigation in this context. It has also been postulated that biogenic emissions are implicated in 'acid rain'. If so, one would expect to be able to identify its presence and impact in the Hudson/James Bay area — far removed from major source regions for anthropogenic emissions.

Nitrogen fixation may also be important in peatlands, especially in minerotrophic fens (Moore & Bellamy, 1974). Even in ombrotrophic blanket bog the process may be significant in some microhabitats (Martin & Holding, 1978). In James Bay muskeg (pH 4.8 – 6.0), fixation has been associated with blue-green algae and lichens (Blasco & Jordan, 1976).

### Floristic differences

Peatland floras are well known to vary regionally in relation to climatic and other environmental variables. However, many interesting questions remain to be answered. For instance, certain species of algae, mosses and vascular plants that are indicative of minerotrophic fens in continental peatlands can grow in ombrotrophic bog habitats in more oceanic sites (Gorham, 1956; Damman, 1979a, b). Whether this is due to differences in nutrient supply, climate, or other environmental factors has not been satisfactorily decided. Different ecotypes could also be involved. Fire might be a factor in some cases; indicators of poor fen are found in burned-over bog islands of the Red Lake peatland in Minnesota (Glaser *et al.*, 1981).

In another case, on drained and burned British peatlands the cottongrass *Eriophorum vaginatum* is often dominant. The same plant sometimes dominates a horizon in the peat profile between overlying *Sphagnum*-bog peat and underlying sedge-fen peat (Gorham, 1949), just as it may dominate the margin between the fen lagg and the raised bog in some Swedish peatlands today (Durietz, 1950). Because the two habitats are so very different, it seems likely that ecotypic differentiation may have occurred, but the matter has not been studied. It would also be of great interest to know something of the geneecology of rare peatland species. For instance, is *Xyris montana* genetically different at the scattered sites in Minnesota where it reaches its western boundary in the U.S.A. (Glaser & Wheeler, in prep.)?

The interactions of climatic factors, water-table fluctuations and water flow patterns in controlling the prevalence of trees and their rates of growth on peatlands have also not been worked out. In this connection, during the drought of the 1930's both tamarack and black spruce in the fens and bogs of northern Minnesota exhibited greatly increased radial stem increments (Hofstetter, 1969; Tilton, 1975).

### Autecological problems

The interaction of environmental variables and individual life-history differences that control the abundance and productivity of peatland plants is poorly understood. For example, although the effects of pH, calcium concentration, water-table depth and sulfur dioxide upon the growth of several *Sphagnum* species have been carefully worked out (Clymo & Reddaway, 1972; Clymo, 1973; Ferguson & Lee, 1978), we do not yet know if their productivity is limited by a deficiency of nutrients such as phosphorus or nitrogen in the same way that tree growth on peatlands is often limited (Tilton, 1978). Competition is also distinctly affected by nutrient availability, as shown by the take-over of *Sphagnum*-dominated bog sites by *Eriophorum vaginatum* after fertilization with phosphorus (Tamm, 1954).

The importance of demographic life-history studies in the investigation of primary productivity of peatland plants is well shown by the work of Bernard, who demonstrated that taking account of substantial shoot mortality during the growing season greatly increases the productivity figures for certain

sedges (Bernard & Gorham, 1978). The autecology of most of the dominant peatland plants has not yet been studied in this way.

The autecology of the major peatland animals is also little known, with the notable exception of the excellent studies of the blanket bog at Moor House in the English Pennine Mountains over the last 30 years (Cragg, 1961; Coulson & Whittaker, 1978). Those investigations have been on a scale sufficient to allow some assessment of the role of animal populations in the ecosystem process of energy flow, a rare situation in peatland ecology. The role of the Hudson Bay/James Bay peatlands as habitats (and refuges) for wildlife deserves serious attention.

### Conclusion

It is evident from this review of the literature that many of the most fascinating and important ecological problems of peatlands have barely been tackled, let alone solved. The great peatland complexes of the Hudson Bay lowlands, like their analogs in northern Minnesota and Alaska, offer challenges to the ecologist at all levels from that of landscape evolution and ecosystem process to the autecology and population dynamics of dominant plants, the geneecology of individual species, and the distribution of rarities of great interest to the taxonomist and conservationist.

### Acknowledgments

This paper grew out of a research proposal funded by the National Science Foundation (Grant DEB-7922142). I am grateful to my colleagues in that proposal, and particularly to H.E. Wright, Jr., for their suggestions regarding important desiderata in peatland ecology.

### References

- AABY, B., 1976. Cyclic climatic variations in climate over the past 5,500 yr reflected in raised bogs. — *Nature*, Lond., 263: 281-284.
- AABY, B. & H. TAUBER, 1975. Rates of peat formation in relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. — *Boreas*, 4: 1-17.
- AARTOLAHTI, T., 1967. On dating the genesis of peat banks and hollows in the raised bogs of southwestern Finland. — *Compt. Rend. Soc. Geol. Finland*, 39: 71-86.
- AITON, W., 1811. Treatise on the origin, qualities, and cultivation of moss-earth, with directions



- for converting it into manure. — Wilson and Paul, Air, 357 p.
- ANONYMOUS, 1981. Wetlands of Canada (map). — Ecological Land Classification Series, no. 14, Environment Canada, Cat. no. EN 73-3/14.
- BERNARD, J.M. & E. GORHAM, 1978. Life history aspects of primary production in sedge wetlands. — Pages 39-51 in R.E. Good, D.F. Whigham & R.L. Simpson (eds.). Freshwater wetlands. Academic Press, New York, 378 p.
- BLASCO, J.A. & D.C. JORDAN, 1976. Nitrogen fixation in the muskeg ecosystem of the James Bay lowlands, northern Ontario. — Can. J. Microbiol., 22: 897-907.
- BOELTER, D.H. & E.S. VERRY, 1975. Peatland and water in the northern lake states. — U.S.D.A. Forest Service, Gen. Tech. Rep. no. NC-31, 22 p.
- BROWN, R.J.E., 1977. Muskeg and permafrost. — Pages 148-163 in N.W. Radforth & C. Brawner (eds.). Muskeg and the northern environment in Canada. University of Toronto Press, Toronto, 399 p.
- CLYMO, R.S., 1973. The growth of *Sphagnum*: some effects of environment. — J. Ecol., 61: 849-869.
- CLYMO, R.S., 1978. A model of peat bog growth. — Pages 187-223 in O.W. Heal & D.F. Perkins (eds.). Production ecology of British moors and montane grasslands. Springer Verlag, New York, 426 p.
- CLYMO, R.S. & E.J.F. REDDAWAY, 1972. A tentative dry matter balance sheet for the wet blanket bog on Burnt Hill, Moor House NNR. — Moor House Occ. Paper no. 3, 15 p.
- CONWAY, V.M., 1948. Von Post's work on climatic rhythms. — New Phytol., 47: 220-237.
- COULSON, J.C. & J.B. WHITTAKER, 1978. Ecology of moorland animals. — Pages 52-93 in O.W. Heal & D.F. Perkins (eds.). Production ecology of British moors and montane grasslands. Springer Verlag, New York, 426 p.
- CRAGG, J.B., 1961. Some aspects of the ecology of moorland animals. — J. Ecol., 49: 477-506.
- CRISP, D.T., 1966. Input and output of minerals for an area of Pennine moorland: the importance of precipitation, drainage, peat erosion and animals. — J. appl. Ecol., 3: 327-348.
- DAMMAN, A.W.H., 1977. Geographical changes in the vegetation pattern of raised bogs in the Bay of Fundy region of Maine and New Brunswick. — Vegetatio, 35: 137-151.
- DAMMAN, A.W.H., 1978. Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs. — Oikos, 30: 480-495.
- DAMMAN, A.W.H., 1979a. Ecological and floristic trends in the ombrotrophic bogs of eastern North America. — Pages 187-195 in J.M. Géhu (ed.). La végétation des sols tourbeux. Documents Phytosoc. (Lille), vol. 4, 1092 p.
- DAMMAN, A.W.H., 1979b. Geographic patterns in peatland development in eastern North America. — Pages 42-57 in Proc. int. Symp. Classif. Peat and Peatlands, Hyttliälä, Finland, 367 p.
- DRURY, W.H., 1956. Bog flats and physiographic processes in the upper Kuskokwim River region, Alaska. — Contr. Gray Herb. Harv., no. 178, 130 p.
- DURIETZ, G.E., 1950. Phytogeographical excursion to the Ryggmossen mire near Uppsala. — Guide A II b 3, Seventh int. Bot. Congr., Stockholm, 24 p.
- EPSTEIN, S., P. THOMPSON & C.J. YAPP, 1977. Oxygen and hydrogen isotopic ratio in plant cellulose. — Science, N.Y., 198: 1209-1215.
- EPSTEIN, S., C.J. YAPP & J.H. HALL, 1976. The determination of the D/H ratio of non-exchangeable hydrogen in cellulose extracted from aquatic and land plants. — Earth Planet. Sci. Letters, 30: 241-251.
- EUROLA, S., 1962. Über die regionale Einteilung der sudfinnische Moore. — Ann. Bot. Soc. Vanamo, 33: 1-243.
- FARNHAM, R.S. 1978. Energy from peat. — Minnesota Energy Agency Rep., 169 p.
- FERGUSON, P. & J.A. LEE, 1978. Effects of sulphur pollutants on the growth of *Sphagnum* species. — Envir. Poll., 16: 151-162.
- FERHI, A.M., A. LONG & J.C. LERMAN, 1977. Stable isotopes of oxygen in plants: a possible paleohygrometer. — Hydrol. Water Resources Ariz. & S.W., 7: 191-198.
- GLASER, P.H., G.A. WHEELER, E. GORHAM & H.E. WRIGHT, 1981. The patterned mires of the Red Lake peatland, northern Minnesota: vegetation, water chemistry, and landforms. — J. Ecol., 69: 575-599.
- GODWIN, H., 1954. Recurrence surfaces. — Danm. geol. Unders., Ser. 2, 80: 22-30.
- GORHAM, E., 1949. Some chemical aspects of a peat profile. — J. Ecol., 37: 24-27.
- GORHAM, E., 1953. Some early ideas concerning the nature, origin and development of peatlands. — J. Ecol., 41: 257-274.
- GORHAM, E., 1956. On the chemical composition of some waters from the Moor House nature reserve. — J. Ecol., 44: 377-384.
- GORHAM, E., 1958. Free acid in British soils. — Nature, Lond., 181: 106.
- GORHAM, E. & J.B. CRAGG, 1960. The chemical composition of some bog waters from the Falkland Islands. — J. Ecol., 48: 175-181.
- GORHAM, E. & D.L. TILTON, 1978. The mineral content of *Sphagnum fuscum* as affected by human settlement. — Can. J. Bot., 56: 2755-2759.
- GRANLUND, E., 1932. De svenska högmossarnas geologi. — Sver. geol. Unders. Afh., 26: 1-193.
- GREESON, P.E., J.R. CLARK & J.E. CLARK, 1979. Wetland functions and values: the state of our

- understanding. — Am. Water Resources Assoc., Minneapolis, MN, 674 p.
- HEINSELMAN, M.L., 1963. Forest sites, bog processes and peatland types in the Glacial Lake Agassiz region. — *Ecol. Monogr.*, 33: 327-374.
- HEINSELMAN, M.L., 1970. Landscape evolution, peatland types, and the environment in the Agassiz Peatlands Natural Area. — *Ecol. Monogr.*, 40: 235-261.
- HEMOND, H.F., 1980. Biogeochemistry of Thoreau's Bog, Concord, Massachusetts. — *Ecol. Monogr.*, 50: 507-526.
- HOFSTETTER, R.H., 1969. Floristic and ecological studies of Minnesota wetlands. — Ph.D. thesis, Univ. Minnesota, Minneapolis.
- JANSSEN, C.R., 1968. Myrtle Lake: a late- and post-glacial pollen diagram from northern Minnesota. — *Can. J. Bot.*, 46: 1397-1408.
- KULCZYNSKI, S., 1949. Peat bogs of Polésie. — *Mém. Acad. pol. Sci., Ser. B*, no. 15, 356 p.
- MALMSTRÖM, C., 1923. Degerö Stormyr. — *Meddn. St. SkogsförsAnst.*, 20: 1-206.
- MARTIN, N.J. & A.J. HOLDING, 1978. Nutrient availability and other factors limiting microbial activity in the blanket peat. — Pages 113-135 in O.W. Heal & D.F. Perkins (eds.), *Production ecology of British moors and montane grasslands*. Springer Verlag, New York, 426 p.
- MATTSON, S. & E. KOUTLER-ANDERSSON, 1954. Geochemistry of a raised bog. — *K. Lantbr. Högsk. Annl.*, 21: 321-366.
- MITCHELL, G.F., 1956. Post-boreal pollen diagrams from Irish raised bogs. — *Proc. R. Ir. Acad., Ser. B*, 57: 235-251.
- MOLDER, K. & M. SALMI, 1955. The general geological map of Finland. Sheet B3. Vaasa, explanation to the map of superficial deposits. — *Geologinen Tutkimuslaitos*, Helsinki, 75 p.
- MOORE, P.D. & D.J. BELLAMY, 1974. *Peatlands*. — Springer Verlag, New York, 221 p.
- NICHOLS, H., 1969. Chronology of peat growth in Canada. — *Paleogeogr., Paleocol.*, 6: 61-65.
- OGDEN, J.G., 1960. Recurrence surfaces and pollen stratigraphy of a postglacial raised bog, Kings County, Nova Scotia. — *Am. J. Sci.*, 258: 341-353.
- OVERBECK, F., K.O. MUNNICH, L. ALETSEE & F.R. AVERDIECK, 1957. Das Alter des "Grenzhorizontes" norddeutscher Hochmoore nach Radiocarbon-Datierung. — *Flora*, Jena, 145: 37-71.
- PAKARINEN, P., 1981. Anaerobic peat as a nutrient sink in raised bogs. [In Finnish with English summary]. — *Suo*, 32: 15-19.
- PAKARINEN, P. & K. TOLONEN, 1976. Regional survey of heavy metals in peat mosses (*Sphagnum*). — *Ambio*, 5: 38-40.
- PAKARINEN, P. & K. TOLONEN, 1977. Distribution of lead in *Sphagnum fuscum* profiles in Finland. — *Oikos*, 28: 69-73.
- PAKARINEN, P., K. TOLONEN & J. SOVERI, 1981. Distribution of trace metals and sulfur in the surface peat of Finnish raised bogs. — Pages 645-648 in *Proc. 6th int. Peat Congress*, Duluth, Minnesota, 1980, 735 p.
- POLLETT, F.C., 1972. Classification of peatlands in Newfoundland. — Pages 101-110 in *Proc. 4th int. Peat Congr.*, Helsinki, 1, 484 p.
- POST, L. von & R. SERNANDER, 1910. Pflanzenphysiologische Studien auf Torfmoore in Närke. — *Livret-guide des excursions en Suède du XI<sup>e</sup> Congrès Geol. Int* 1, 14 (Excursion A7).
- READER, R.J. & J.M. STEWART, 1972. The relationship between net primary production and accumulation for a peatland in southeastern Manitoba. — *Ecology*, 53: 1024-1037.
- RÜHLING, A. & G. TYLER, 1971. Regional differences in the deposition of heavy metals over Scandinavia. — *J. appl. Ecol.*, 8: 497-507.
- RUUHIJÄRVI, R., 1960. Über die regionale Einteilung der nordfinnische Moore. — *Ann. Bot. Soc. Vanamo*, 31: 1-360.
- RUUHIJÄRVI, R., 1970. Subarctic peatlands and their utilization. — Pages 319-326 in *Ecology of the subarctic regions*. UNESCO, Paris, 364 p.
- SCHENK, E., 1970. On the string formation in the aapa moors and raised bogs of Finland. — Pages 335-342 in *Ecology of the subarctic regions*. UNESCO, Paris, 364 p.
- SCHIEGL, W.E., 1972. Deuterium content of peat as a paleoclimatic recorder. — *Science*, N.Y., 175: 512-513.
- SCHNEEKLOTH, H., 1968. The significance of the limiting horizon for the chronostratigraphy of raised bogs: results of a critical investigation. — Pages 116-118 in *Proc. 3rd int. Peat Congr.*, Quebec, 405 p.
- SIEGEL, D.I., 1981. Hydrogeologic setting of the Glacial Lake Agassiz peatlands, northern Minnesota. — *U.S. Geol. Surv., Water-Resources Investigations* no. 81-24, 30 p.
- SJÖRS, H., 1948. Myrvegetation i Bergslagen. — *Acta phytogeogr. suec.*, 21: 1-299.
- SJÖRS, H., 1959. Bogs and fens in the Hudson Bay lowlands. — *Arctic*, 12: 2-19.
- SJÖRS, H., 1961a. Some chemical properties of the humus layer in Swedish natural soils. — *K. Skogshögsk. Skr.*, no. 37, 51 p.
- SJÖRS, H., 1961b. Forest and peatland at Hawley Lake, northern Ontario. — *Bull. natn. Mus. Can.*, 171: 1-31.
- SJÖRS, H., 1963. Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario. — *Bull. natn. Mus. Can.*, 186: 45-133.
- SJÖRS, H., 1980. Peat on earth: multiple use or conservation? — *Ambio*, 9: 303-308.
- TAMM, C.O., 1954. Some observations on the nutrient turnover in a bog community dominated by *Eniophorum vaginatum*. — *Oikos*, 5: 189-194.

- TANSLEY, A.G., 1949. The British Isles and their vegetation. — Cambridge Univ. Press (2 vol.), 930 p.
- TILTON, D.L., 1975. The growth and nutrition of tamarack (*Larix laricina*). — Ph.D. thesis, Univ. Minnesota, Minneapolis.
- TILTON, D.L., 1978. Comparative growth and foliar element concentrations of *Larix laricina* over a range of wetland types in Minnesota. — J. Ecol., 66: 199-512.
- TOLONEN, K., 1971. On the regeneration of north European bogs. — Acta Agralia Fennica, 123: 143-166.
- TOLONEN, K., 1977. On dry matter accumulation and bulk density values in three south Finnish raised bogs [In Finnish with English summary] — Suo, 28: 1-8.
- URQUHART, C. & A.J.P. GORE, 1973. The redox characteristics of four peat profiles. Soil Biol. Biochem., 5: 659-672.
- WALKER, D., 1970. Direction and rate in some British post-glacial hydroseres. — Pages 117-139 in D. Walker & R.G. West (eds.), Studies in the vegetation history of the British Isles. Cambridge Univ. Press, London, 266 p.
- WALKER, D. & P.M. WALKER, 1961. Stratigraphic evidence of regeneration in some Irish bogs. — J. Ecol., 49: 169-185.
- WICKMAN, F.E., 1951. The maximum height of raised bogs. — Geol. För. Stockh. Förh., 73: 413-422.
- ZOLTAI, S.C., 1980. An outline of the wetland regions of Canada. — Pages 1-8 in Ecological Land Classification Series, no. 12, Environment Canada, Cat. no. En 73-3/12, 90 p.



## HUDSON BAY LOWLAND FLORISTIC INVENTORY, WETLANDS CATALOGUE AND CONSERVATION STRATEGY

J. L. RILEY

*Department of Botany, Royal Ontario Museum  
100 Queen's Park, Toronto, Ontario M5S 2C6*

### Résumé

Cet inventaire botanique des basses-terres de la baie d'Hudson est basé sur des énumérations faites dans la littérature, des spécimens d'herbier et des spécimens récoltés à 335 stations de onze zones des basses-terres. Il permet d'établir les différences floristiques entre les zones et les affinités phytogéographiques à travers les basses-terres. Un échantillonnage des terrains humides (pourcentage de la couverture des espèces, pH et profondeur de l'eau, épaisseur de la tourbe, type de substrat) fut effectué à 310 stations. Les résultats de cette classification suggèrent une variation des types de terrains humides en fonction du pH et de la profondeur de la nappe phréatique, tous deux modifiés par l'accumulation de la tourbe et les caractéristiques du pergélisol. Cette classification et la variation observée des types de terrains humides sont à la base d'un projet de délimitation de 33 réserves naturelles des basses-terres en Ontario.

### Abstract

An assembly of floristic data for the Hudson Bay lowland was based on independent cataloguing of literature, herbarium and collection data (335 sites) for eleven subzones of the lowland, enabling an analysis of floristic differences between zones and changes in geographic affinities across the lowland. Baseline data on wetlands (species' percentage cover, water pH and depth, peat depth, substrate type) were collected at 310 sites; the resulting catalogue of wetland types suggested general wetland variation along axes of water pH (nutrient availability) and depth-to-water (moisture-aeration), both modified by peat accumulation and permafrost characteristics. The wetland catalogue and the observed regional variation in wetland types provided a perspective from which to propose a candidate system of 33 Ontario Lowland Nature Reserves as part of Provincial Park planning in the region.

### Introduction

The collection of basic floristic and ecological data in the Hudson Bay lowland has lagged behind that of much of the Canadian Subarctic. The purpose of this paper is to briefly discuss three current studies in the Hudson Bay lowland, particularly in Ontario: 1) the assembly of floristic data on vascular plant species occurring in the lowland; 2) the collection, cataloguing and classification of wetland ecosystems in the lowland; and 3) developing a strategy for landscape conservation in Ontario's lowland.

The Hudson Bay lowland is a compact geological province of Phanerozoic bedrock types (Prest, 1970; Sanford *et al.*, 1968). This paper concerns the lowland south of Hudson Bay, which makes up about 3.5% of Canada (324,000 km<sup>2</sup>), about one quarter

of Ontario, and is surrounded by the Precambrian Shield (ca. 49% of Canada). Close to the centre of the Wisconsin ice sheet, it has undergone one of North America's most rapid rates of isostatic adjustment and uplift, up to 1.2 m per century over the last 1,000 years (Webber *et al.*, 1970), a rate much diminished from the immediate post-glacial era. This has revealed as much as 30 km of newly colonizable land at Cape Henrietta Maria in the last 1,000 years (Fig. 5 in Webber *et al.*, 1970).

This emergent sea bottom has substrates mainly of marine silt/clays, marine-washed tills and subglacial deposits, and marine beach ridge features, locally reworked by rivers. These generally impermeable substrates, the widespread beach ridges perpendicular to the slope of the land, and the very

slight slope of the land (av. 65 cm/km in the Moose River basin and 75-100 cm/km from Big Trout Lake to Hudson Bay; ref. 1: 250,000 topographic map sheets), provide ideal conditions for the formation of extensive and largely inaccessible wetlands. Among the other factors in the development of this landscape have been the prevailing subarctic climate and the region's prehistory of more arboreal systems degraded by diminishing topographic slope (isostatic rebound), peat accumulation and post-hypsithermal climatic deterioration (Terasmae, 1968).

More than 90% of the lowland is covered with wetlands (Canada, 1974), the vast majority of which have more than 30 cm of peat accumulation, so that the lowland is one of the largest semi-continuous peatland systems in the northern hemisphere and certainly the largest in Canada. This fact has been a major constraint on accessibility within the lowland.

### Floristic inventory

Difficulties of access for botanists and vegetation ecologists have made the history of data collection in the lowland brief (Sims *et al.*, 1979). Before 1900, most botanical work was the by product of explorations by members of the Geological Survey of Canada; J. M. Macoun (1888, 1889), Bell (1886), John Macoun (1881), Low (1887), Spreadborough (J. Macoun, 1904) and others (John Macoun, 1905, 1906). From them until the mid-1940's, Potter (1932, 1934) and Gardner (1937, 1946) were among the most active students of the lowland flora. The linking of Churchill and Moosonee to the south by rail (1927 and 1935 respectively) allowed access by many workers to those areas, whose floras remain the best documented in the lowland. From 1940 to 1965, several major studies were undertaken. The most extensive of these was by Dutilly *et al.*, (1954, 1958) throughout the major rivers and coastlines of the James Bay drainage basin (Dutilly & Lepage, 1963; Dutilly *et al.*, 1954, 1958; Lepage, 1966); Baldwin at several trading posts in the lowland (Lepage & Baldwin, 1959; unpublished data at National Museum of Canada); Scoggan (1957, 1969, 1978-1979), Schofield (1959) and Ritchie (1956, 1962) in the Manitoba lowland; Hustich (1955, 1957a), Fagerstrom (1949), Sjörs (1961, 1963) and Porsild (unpublished data at National Museum of Canada) at several widely separat-

ed interior stations in Ontario; Moir (1958) in the Severn River basin; and Ahti (Ahti & Hepburn, 1967) in the Ontario lowland.

The assembly of a regionalized flora of the lowland included the compilation of published and unpublished floristic data, and the cataloguing of voucher materials in the herbaria of the National Museum of Canada, Agriculture Canada, the University of Toronto (including Erindale and J.C. Ritchie collections), E. Lepage in Rimouski (now at Université Laval), the Canadian Forestry Service, the Ontario Ministry of Natural Resources, and the University of Helsinki, Finland.

Lowland locations visited by the author since 1972 to complement this data base (Fig. 1) included intensive floristic inventories at Onakawana (1972), southwestern James Bay (1972, 1976), Moosonee, the lower Attawapiskat River (1977), the Shagamu River mouth on Hudson Bay (1977), and the Aquatuk Lake area (1978-1980). Most of the remaining data collection locations were visited briefly during helicopter or fixed-wing reconnaissance (1976-1979). Eleven lowland data collection zones were used (Fig. 1), within each of which independent data cataloguing was undertaken. These zones are the major watersheds of the lowland, with the addition of a James Bay coastal zone, two Ontario Hudson Bay maritime tundra zones, a Sutton Ridge Precambrian bedrock zone, and a Manitoba lowland zone (Riley, 1980). The latter zone would better have been segregated into a coastal and an interior zone, but the lack of personal collecting in that area, the uneven collection coverage of the Manitoba lowland in the past, and the lack of good floristic data for the area between the Nelson River and the Ontario border, precluded that approach at the present.

At these locations, about 7,000 collections and over 10,000 further site records were made by the author. In addition to these, other field workers from various agencies have forwarded an additional 4,500 lowland specimens for determination and cataloguing. To date, this catalogue includes 801 native species and 93 introduced species. This varies from about 550 native taxa in the Moose River basin (Fig. 1, HBL7) to about 320 at Cape Henrietta Maria (Fig. 1, MT1). This inventory has added about 10% more species to the only previous estimate of the number of vascular plant species occurring in the lowland (Hustich, 1957b).

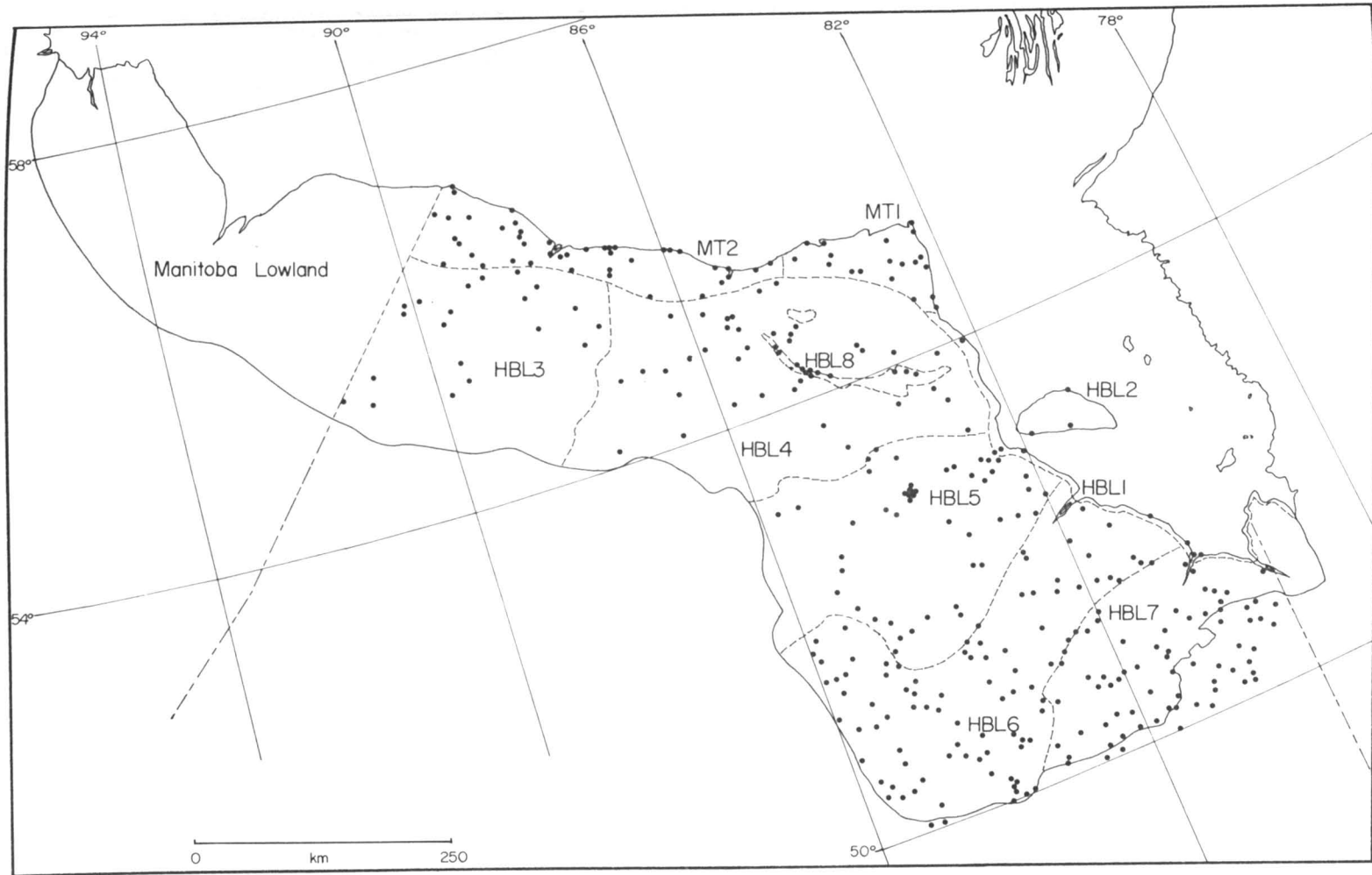


Figure 1. Hudson Bay lowland: data collection zones and sites.

The geographic affinities of this flora were analyzed in terms of a zone-by-zone comparison and as a mean of estimating the degree of floristic change across different parts of the lowland (Riley, 1980). This was done by coding the general continental distributions of lowland plant species in terms of generalized latitudinal and longitudinal floristic regions [adapted from Scoggan (1978-1979) by reference to published distribution maps]; for example, a coding of ST/X indicates a transcontinental (X) distribution from high subarctic (S) to high temperate (T) areas. Within the lowland, about one third of taxa are widespread, occurring in at least 3 of 5 coastal and 4 of 6 interior zones. These 280 widespread taxa might be termed the 'ambient flora'. However, the rest of lowland taxa have distributional limits falling within the lowland, and the pattern of these limits can be analyzed to characterize floristic change across the lowland. For example, the relative percentage of non-widespread taxa with high or low arctic affinities varies from about 33% at Cape Henrietta Maria to about 7% in the Moose River basin (Fig. 2).

This method of comparing the floras of data collection zones was extended to a quantification of latitudinal and longitudinal

'affinity indices' across 16 boundaries placed in various positions across the lowland ['affinity index' = the sum of absolute differences between relative percentages of occurrences of species in continental floristic zones, latitudinal and longitudinal, on each side of any possible boundary (Riley, 1980)]. The higher affinity indices indicate boundaries with greater amounts of floristic change across them. The boundaries indicated in Figure 2 were the strongest evaluated. They separate the greatest number of species distributions and the species with the greatest differences in geographic affinities. This analysis showed a strong incursion of eastern temperate species into the southern interior of the lowland (85 taxa), a strong and rich southwestern James Bay representation of transcontinental coastal halophytes and temperate estuarine species (31 taxa + 157 ubiquitous lowland coastal taxa), and a very strong Hudson Bay maritime tundra representation of arctic species (87 taxa + 157 ubiquitous lowland coastal taxa). In the interior of the lowland, however, floristic change is a more gradual shift of latitudinal affinities northward, without abrupt changes.

These boundaries often closely parallel the distributional limits of many lowland taxa; for example, the coincidence of four

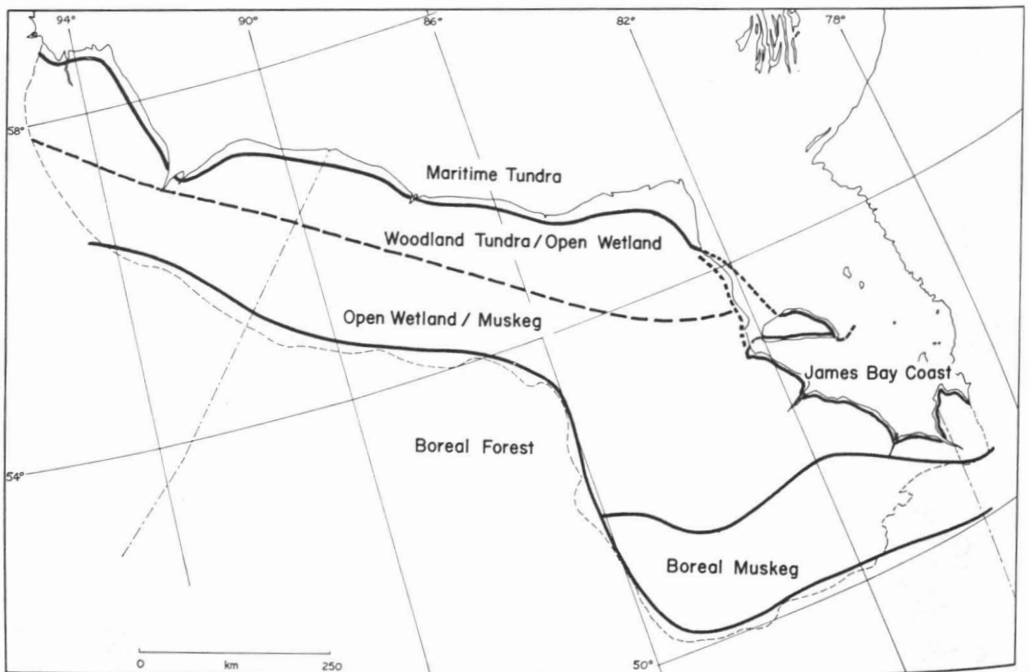


Figure 2. Floristic zonation of the Hudson Bay lowland, characterized by dominant vegetation.



high subarctic *Pedicularis* spp. with the maritime tundra along Hudson Bay (Fig. 8 in Riley, 1979).

These zones approximate the 'forest regions' of the lowland proposed by Coombs (1952) and are probably aligned with macro-environmental factors (proximity to Hudson Bay, interior continentality, etc.), but such factors are poorly documented at the present time because of the lack of meteorological stations between Churchill and Moosonee.

### Wetland catalogue

The lowland is dominated by expansive interior wetland systems which have been well documented in only a few instances (Sjörs, 1961, 1963). During the course of reconnaissances, baseline wetland data were collected with the objective of cataloguing the major 'dominance types' (Jeglum *et al.*,

1974) of vegetation occurring within wetland systems. At 310 sites across the lowland, data were collected on the percentage composition of particular dominance types within major wetland mapping units. For each dominance type recorded, the minimum data collected included the percentage cover of the moss, lichen and vascular floras, the water acidity at 10 cm below groundwater level (or at depth water was encountered over 10 cm), the average and range of depth-to-water, the depth of peat and the type of substrate below the peat.

These data and other compatible published lowland data were organized into a hierarchical classification modified after the approach of Jeglum *et al.* (1974), based on 'dominance types', 'physiognomic groups', 'subformations' and 'formations'. The approach parallels the efforts of other workers to standardize descriptive wetland terminology for the lowland (Jeglum & Cowell, 1982; Sims *et al.*, 1982). This classification

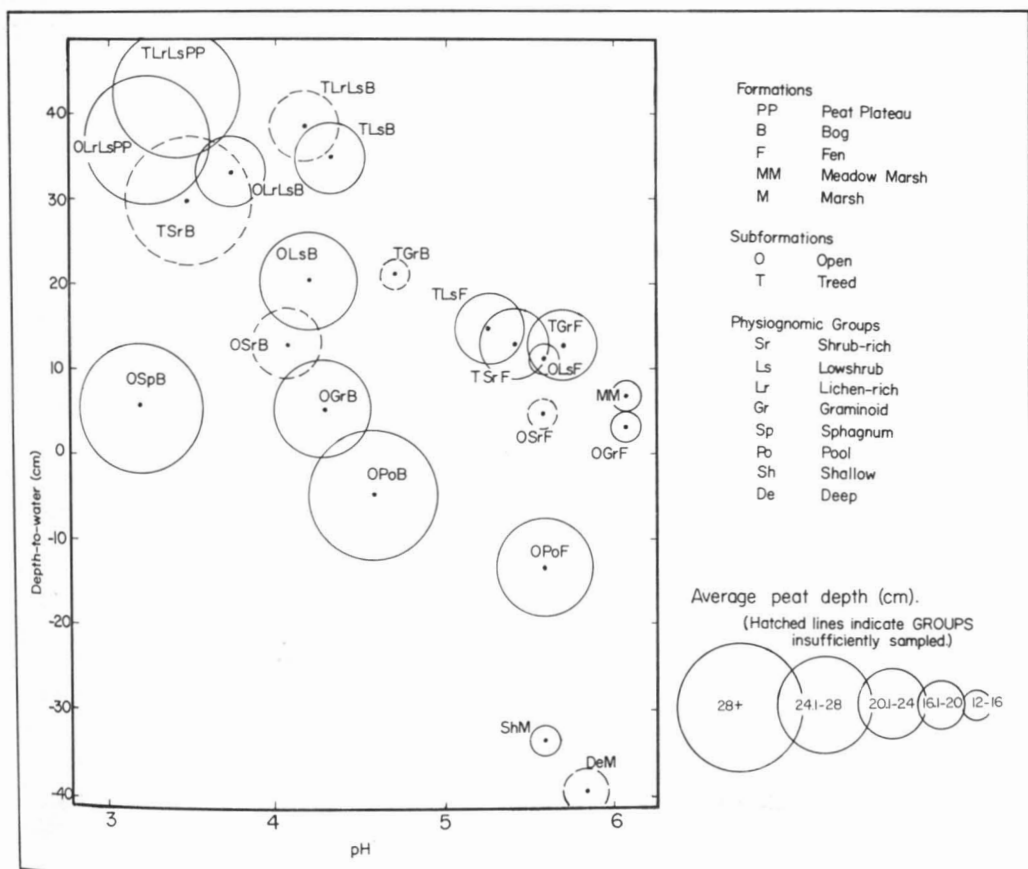


Figure 3. Scatter plot of average pH and depth-to-water values for major physiognomic groups of peat plateau, bog, fen and marsh; average peat depths superimposed.

is also being used by the Ontario Centre for Remote Sensing in their computer-assisted mapping of surficial geomorphology of the Ontario lowland (Pala & Boissonneau, 1982).

This catalogue of site data also offered the opportunity to look at some major environmental relationships, such as the positive correlations between site elevation and maximum peat depths, peat depths and groundwater acidity, and groundwater pH and species diversity (Riley, 1981a).

For example, a graph of the average site pH's, depths-to-water and peat depths for the major physiognomic groups provides a convenient ordination for the interpretation of wetland succession in the lowland (Fig. 3). Marsh, meadow marsh, fen, bog and peat plateau groups fall closely together in this ordination, with characteristically deeper peats and lower pH's in bog and peat plateau groups. The depth-to-water values can be considered here as a rough index to the moisture aeration regime, and the water pH values as a rough measure of nutrient availa-

bility (Fig. 4; Jeglum, 1974). The principal temporal parameter affecting these regimes is peat accumulation, operating as a strong unidirectional factor in most successional scenarios. The field assessment of successional trends is also based on sites interpreted as transitional; for example, bog sites with persisting or dead woody fen elements such as *Larix laricina* or *Betula glandulifera* can be interpreted as transitional from fen to bog, whereas the opposite succession was not interpreted from any sites. At the physiognomic or subformation level, transitional sites were not problematic because of the nature of group definitions, such as *open* (cover by trees >135 cm <10%) and *treed* (cover by trees > 135 cm > 10%, trees > 10 cm DBH < 10%). However, transitional sites at the formation level, especially between fen and bog, are more problematic and interpretable.

Such successional trends can be multi-directional at the level of physiognomic group but, at the level of formations, in-

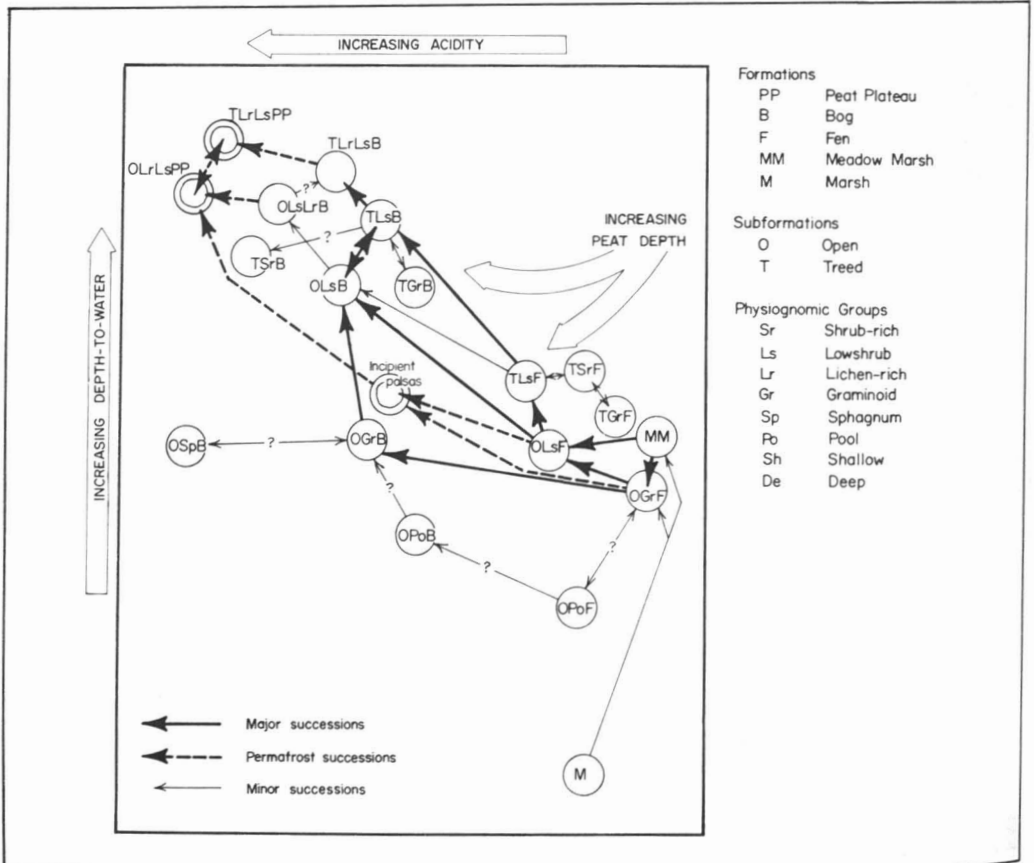


Figure 4. Schematic of successional trends in lowland bog, fen, marsh and peat plateau.

variably progress from marsh and meadow marsh, through fen, to bog and, dependent on climate and other factors, to peat plateau or palsa formations. It is worth noting that this succession parallels the progression of dominant formations from the coastlines towards older interior wetlands, and also parallels the progression apparent in the basal part of the pollen stratigraphy in the only lake bottom core sampled to date in the lowland (McAndrews *et al.*, 1982).

These wetland data show some shifts in environmental parameters along an overall north-south axis. For example, graphs of the percentage cover values of particular species against their site pH's consistently show a change, as with *Carex limosa* (Fig. 5), in habitat towards less acid sites northward, in this case north of the Attawapiskat River. This may involve some cline of adaptation to varying habitats but may also reflect the broadscale change towards higher pH values in wetlands in the northern lowland (Fig. 6). This north-south pH change, in turn, parallels a general decrease northward of maximum peat accumulation (Riley, 1981a), presumably related to climate.

There are major north-south changes in the dominant vegetation across the lowland. The percentage proportions of major physiognomic groups have been assessed in detail for the Northern Clay Section south of the lowland (Jeglum & Boissonneau, 1977), and will eventually be calculated for the lowland from computer-assisted interpretation of satellite imagery. However, the generalized patterns of change can be presented schematically (Fig. 7), although as yet based only on a subjective synopsis of extensive field work. Wetlands dominate at all latitudes, with non-peat wetlands of some importance in the southern parts of James Bay and along Hudson Bay. 'Upland' sites are more abundant along the contact with the Shield, in till plateau areas (such as near the Sutton Ridge), and on the beach ridge complexes along Hudson Bay. Of the wetlands, swamps decrease northward, fens increase northward (and coastward), and discontinuous and continuous permafrost increases dramatically north of the Attawapiskat River, occurring farthest south in treed and open low-shrub bog and then, further north, under other wetlands.

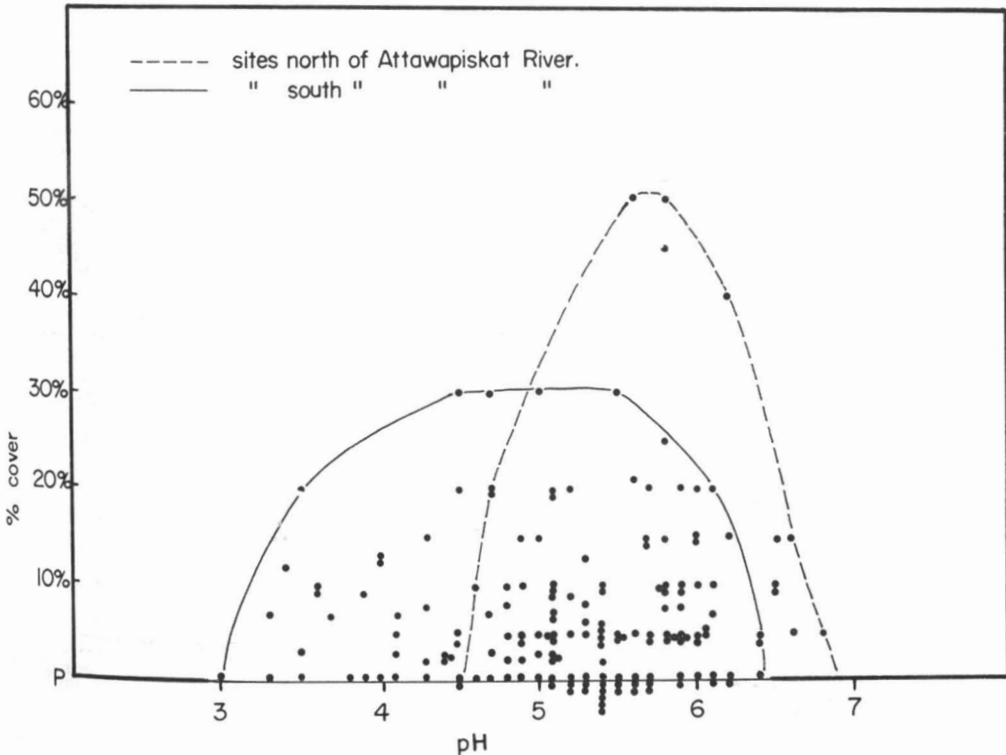


Figure 5. Graph of species' cover percentages and site pH's for sampled peatland sites — *Carex limosa*.

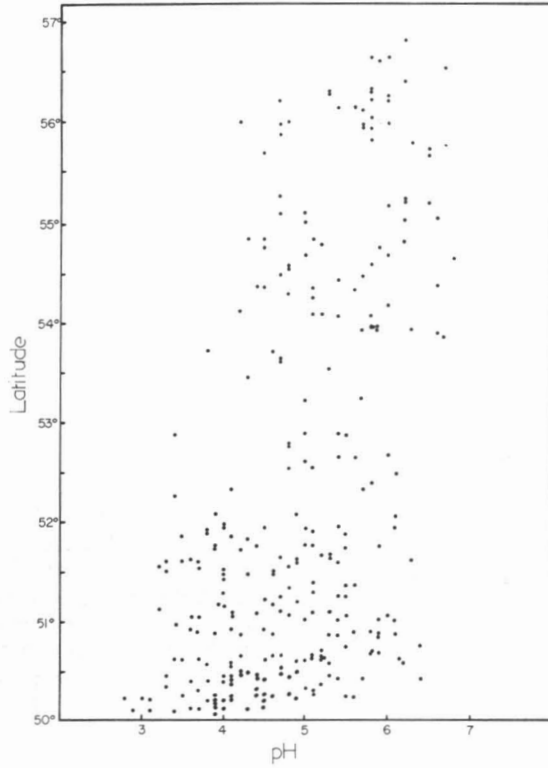


Figure 6. Graph of latitude and pH for sampled peatland sites.

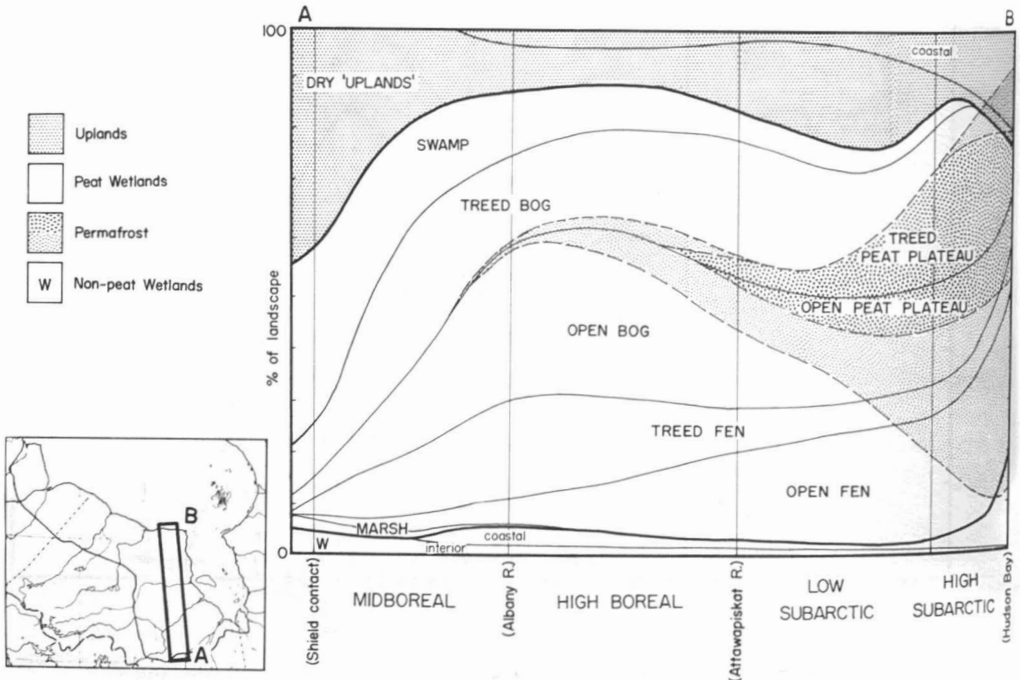


Figure 7. Schematic of vegetation change across the Hudson Bay lowland.

TABLE I

## Wetland regions in Ontario's Hudson Bay lowland

Wetland regions are based on the developmental trends within regions, expressed as the characteristic wetlands of the region and, to a lesser extent, on their regional abundance (Zoltai, 1979). It should be noted that the lowland represents a nationally anomalous situation in that a higher proportion of this physiographic region of Canada is dominated by wetlands than any other part of Canada.

MIDBOREAL WETLAND REGION ( $B_{Mh}$ )

This Wetland region is very rich floristically, with more temperate elements such as deciduous SWAMP and white cedar FEN and SWAMP in the more continental interiors, and with some northern permafrost-related wetlands in the northeast, where predictable sporadic permafrost reaches its southern limit. The Moose River basin has better drainage (higher topographic gradient) than elsewhere in the lowland, supporting homogenous TREED FEN and BOG expanses which grade into SWAMP along streams and into forest along rivers. The Albany River basin is characterized by large patterned OPEN BOG and, to a lesser extent, FEN, with peat over 4 m deep in many areas south of 50°30' N. Interior OPEN BOGS are more seasonally droughty than elsewhere in the lowland, often supporting denser sedge and cotton grass cover than elsewhere in the lowland. Close to the Shield 'escarpment', smaller wetlands perched between bedrock-controlled rises are common, especially in the east where the topographic rise is relatively steep. Between the Kenogami and Missinaibi Rivers is a higher till 'plateau' area with less wetland representation than in lower elevations both to the east and west of it ( $B_{MhL}$ ).

A significant breadth of coastal and estuarine wetlands occurs along the coast of this region, with a broad and productive intertidal/supertidal zone extending to over 8 km wide in some areas. MARSH, MEADOW MARSH, THICKET SWAMP and LOW SHRUB MEADOW MARSH are common, often extending inland a considerable distance, especially in the estuaries of major rivers. On the Shield ( $B_{Mhs}$ , the Kesagami upland), away from the upland Pinnard Moraine, SWAMP and TREED BOG remain dominant elements transitional to the Northern Clay Section to the south. These wetlands are constrained by bedrock control and are less expansive; floristic assemblages include characteristic Shield acidophiles rare or absent from the lowland.

HIGH BOREAL WETLAND REGION ( $B_H$ )

This region is dominated by patterned OPEN BOG and FEN, with a very gradual topographic rise from the James Bay coast, and with a relatively strong correlation of peat depth, elevation and depth from the coast. This correlation is expressed below about 65 m A.S.L. as relatively unpatterned and immature coastal OPEN and TREED FEN. The overall densities of tree species are much below those similar subformations in the Moose River basin. In TREED and OPEN BOG, there is an increasing proportion of permafrost, expressed to the north as PEAT PLATEAU but more often as incipient palsas (TREED and OPEN) features, with many associated collapse patterns. A secondary element of provincial significance is the development of karst-related wetlands with exaggerated seasonal patterns of depth-to-water characteristics (Attawapiskat River area). The coastal and estuarine wetlands of this Region are similar in scope and proportions to those of the region to the south.

LOW SUBARCTIC WETLAND REGION ( $S_L$ )

This region is characterized by the very shallow topographic dropoff from the Shield north to an east-west 'shoulder' across the lowland, made up of the Sutton Ridge uplands and associated washed till uplands, the thermokarst 'upland' plateau between the Winisk and Severn River basins and the till uplands west of the Severn River. The thermokarst plateau is dominated by PEAT PLATEAU and thermokarst lake systems, but the other two areas support upland lichen woodland (very much burned in the west) as an important landscape element. These two higher areas also have shallower peat accumulations and more sloping terrain; OPEN FEN is characteristic of these areas, as well as of the region as a whole. In the coastward half of the region, PEAT PLATEAU and other permafrost-related features dominate, and extend into FEN systems. The coastal and estuarine systems on James Bay are considerably narrower north of Akimiski Island and occupy a smaller proportion of overall wetland types than in other lowland Wetland Regions.

A drier climatic regime towards the west ( $S_{LW}$ ) results in an increasing proportion of fire-dependent and/or fire related landscape features than in the east ( $S_{LE}$ ). Wetland systems (BOG and PEAT PLATEAU) in which fire plays a role are widespread to the west, particularly along alluvia-related, riparian PEAT PLATEAU.

HIGH SUBARCTIC WETLAND REGION ( $S_H$ )

This is an area of more or less continuous permafrost, which extends its influence into all wetland

subformations as well as into coastal wetland (supertidal) sites and into coastal terrestrial sites such as tundra-heath beach ridges. Lichen-dominated TREED BOG and PEAT PLATEAU are dominant. Broad LOW SHRUB MEADOW MARSH and THICKET SWAMP occur at coastal and tundra sites, but the expression of intertidal/supertidal wetlands is relatively weak because of the steeper gradient and narrower tidal zone along the Hudson Bay coast. The prevailing onshore winds and waters active along this coast have produced a tremendous display of parallel beach ridges, often extending many kilometres inland, with a great variety of subarctic inter-ridge MEADOW MARSH and MARSH vegetation, changing to FEN systems towards the interior, and then to developing PEAT PLATEAU. The proportion of coastal phenomena is large in this region compared to the region to the south, with a proportionate increase in terrestrial, non-wetland vegetation. The breadth of tidal wetlands is significant in the estuaries of the major rivers and near off-shore islands, particularly in the vicinity of the Pen Islands.

This landscape gradation will become more fully elaborated as physiographic subregions (Pala & Weischet, 1982) but, in the interim, a broadscale mapping of general wetland regions, as indicated along the base of this schematic (Fig. 7) and adapted from the national zonation proposed by Zoltai (1979), can assist in planning for the lowland. This zonation (Fig. 8, Table I), in conjunction with an increasingly detailed biological data base, can provide part of the regional perspective for designating and documenting potential parklands in the lowland, preferably as Nature Reserves.

The only modifications from Zoltai's national wetland regions were: 1) the division of the Low Subarctic Region (SL) into two local Ontario subregions, with a drier subregion west of the Winisk River watershed

characterized by the increased abundance of fire-affected permafrost wetlands in that area; and 2) the division of the Midboreal Region (BM) to designate as a local subregion the area of the flat Phanerozoic Lowland, in which the frequency of wetlands exceeds 90% (Canada, 1974). The High Subarctic Wetland Region (SH) corresponds closely with the maritime-tundra floristic zone along Hudson Bay (compare Fig. 2 and 8) and the non-forested zone described by Coombs (1952) and others, and the Midboreal Wetland Region (BMH) corresponds fairly closely with the boreal muskeg floristic zone in the southern lowland (Fig. 2) and with the Main Boreal Forest Region of Coombs (1952). The intervening High Boreal and Low Subarctic Wetland Regions (BH and SL) occupy the central area of the lowland, in which floristic change was too

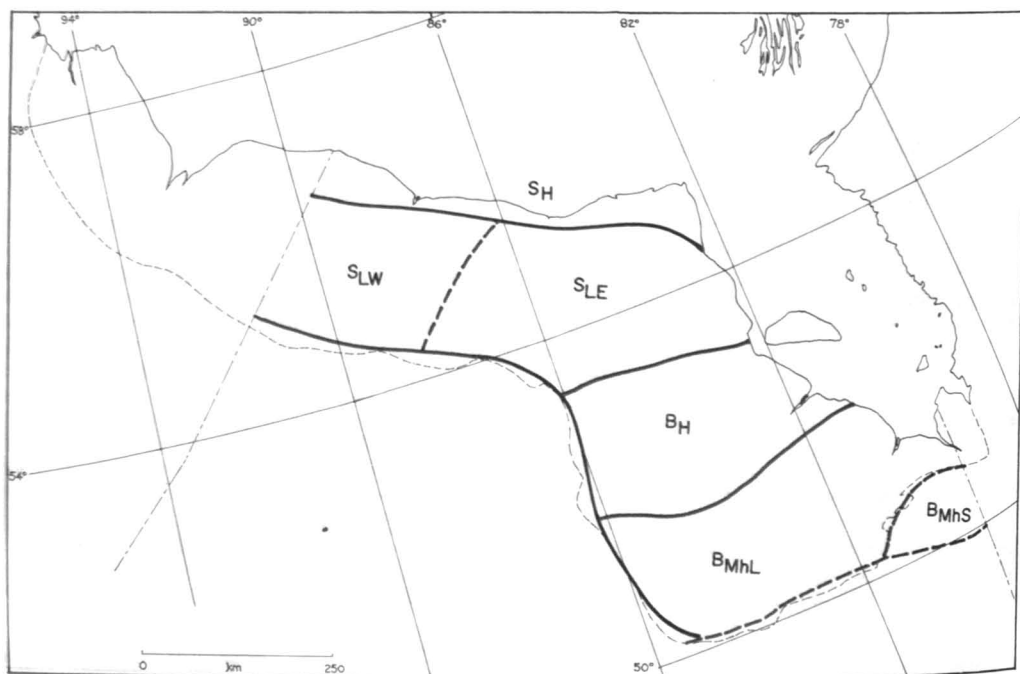


Figure 8. Wetland regions in Ontario's Hudson Bay lowland.

gradual to be separable as distinct floristic zones but which Coombs (1952) characterized as a northern Forest Tundra-Open Boreal Woodland Forest Region and a southern Muskeg Woodland Forest Region.

### Conservation strategy

Ontario is currently undertaking Strategic Land Use Planning (S.L.U.P.) concerned with the long-range land use commitment of Crown Lands in northern Ontario. Part of this planning programme entails the preliminary identification of a conservation and Park strategy for the lowland, in occurrence with the Provincial Park Policy's Protection and Heritage Appreciation objectives: the protection of a system of provincially significant earth and life science features for unstructured, low-impact individual, scientific and educational use.

A candidate system of Life Science Nature Reserves has been proposed for Ontario's lowland (Riley, 1981b). This proposal is a practical application of the data base generated by field studies undertaken to date. Several general selection criteria were stressed: i) the *representativeness* of sites within various broadscale regional contexts, such as Wetland Regions (Zoltai, 1979; Table I, Fig. 8) Forest Site Regions (Maycock, in prep.), Geologic Regions (Sanford *et al.*, 1968; Prest, 1970) and Floristic Regions (Fig. 2); ii) the *focus* of sites on special life or earth science features, such as unusual wetlands, karst geomorphology, thermokarst systems, modified subglacial deposits, unusually productive waterfowl habitats, endangered species, etc.; iii) the maximizing of ecosystem *diversity* within sites; and iv) other *ecological considerations* related to the size, elevation and boundaries of sites. This candidate system proposes 33 Nature Reserves, 5 of which are already formally established, for a total of 4.7% of Ontario's Hudson Bay lowland. This system is tentative but should provide the Ministry of Natural Resources with some of the rationalization and site specific detail for further implementation of a conservation strategy in Ontario's lowland.

### Acknowledgments

These studies have only been possible with the generous help of various agencies, all of whom are represented by spokesmen at this symposium. I'd like to acknowledge several of these agencies, with apologies for not citing their particular roles

in more detail; the Ontario Centre for Remote Sensing and the Ontario Ministry of Natural Resources, and the Canadian Forestry Service, Canadian Wildlife Service and Lands Directorate, Environment Canada.

### References

- AHTI, T. & R. L. HEPBURN, 1967. Preliminary study on woodland caribou range, especially in lichen stands in Ontario. — Ont. Min. Nat. Resources, Res. Br. (Wildlife), Res. Rep. no. 74, 134 p.
- BELL, R., 1886. Report on an exploration of portions of the Attawapiskat and Albany Rivers. — Geol. Surv. Can., A. Rep. (n.s., 2), 1886: 5-38 G.
- CANADA, 1974. The national atlas of Canada. — MacMillan Co., Toronto, in association with the Dept. Energy, Mines and Resources, 254 p.
- COOMBS, D. B., 1952. The Hudson Bay lowland, a geographical study. — M.A. thesis, McGill University, Montréal, 227 p.
- DUTILLY, A. & E. LEPAGE, 1963. Contribution à la flore du versant sud de la baie James, Québec-Ontario. — Contr. Arct. Inst. cath. Univ. Am., no. 12F, 198 p.
- DUTILLY, A., E. LEPAGE & M. DUMAN, 1954. Contribution à la flore du versant occidental de la baie James, Ontario. — Contr. Arct. Inst. cath. Univ. Am., no. 5F, 144 p.
- DUTILLY, A., E. LEPAGE & M. DUMAN, 1958. Contribution à la flore des îles (T.N.O.) et du versant oriental de la baie James. — Contr. Arct. Inst. cath. Univ. Am., no. 9F, 199 p.
- FAGERSTROM, L., 1949. Vascular plants collected by I. Hustich in Ontario and Québec, Canada. — Memo. Soc. Fauna Flora fenn., 24: 194-212.
- GARDNER, G., 1937. Liste annotée des espèces de ptéridophytes, de phanérogames et d'algues récoltées sur la côte du Labrador, à la baie d'Hudson et dans le Manitoba nord, en 1930 et 1933. — Bull. Soc. bot. France, 84: 19-51.
- GARDNER, G., 1946. Liste des plantes récoltées sur la côte du Labrador, dans le détroit d'Hudson, à la baie James et dans le Manitoba nord. — Bull. Soc. bot. France, 93: 162-200.
- HUSTICH, I., 1955. Forest botanical notes from the Moose River area, Canada. — Acta Geogr., 13: 1-50.
- HUSTICH, I., 1957a. Comparison of the vegetation of Fort Severn and at Big Trout Lake in northern Ontario. — Arct. Inst. N. Am., Edmonton, Canada, Ms, 44 p.
- HUSTICH, I., 1957b. On the phytogeography of the subarctic Hudson Bay lowland. — Acta Geogr., 16: 1-46.
- JEGLUM, J. K., 1974. Relative influence of moisture-aeration and nutrients on vegetation and black spruce growth in northern Ontario. — Can. J. For. Res., 4: 114-126.

- JEGLUM, J.K. & A.N. BOISSONNEAU, 1977. Air photo interpretation of wetlands, northern Clay Section, Ontario. — *Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Inf. Rep. no. 0-X-269*, 44 p.
- JEGLUM, J.K. & D.W. COWELL, 1982. Wetland ecosystems near Kinoje Lakes, southern interior Hudson Bay lowland. — *Naturaliste can.*, 109: 621-635.
- JEGLUM, J.K., A.N. BOISSONNEAU & V.F. HAAVISTO, 1974. Toward a wetland classification for Ontario. — *Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Information Rep. no. 0-X-215*, 54 p.
- LEPAGE, E., 1966. Aperçu floristique du secteur nord-est de l'Ontario. — *Naturaliste can.*, 93: 207-246.
- LEPAGE, E. & W.K.W. BALDWIN, 1959. Checklist of vascular plants. — Pages 30-114 in W.K.W. Baldwin (ed.). *Botanical excursion to the boreal forest region in northern Québec and Ontario*. *Natn. Mus. Can., Guide Book*. Ottawa, 119 p.
- LOW, A.P., 1887. Preliminary report on an exploration of country between Lake Winnipeg and Hudson Bay. — *Geol. Nat. Hist. Surv., A. Rep.* 1886, 5-24 F.
- MACOUN, James M., 1888. Note on the flora of James Bay. — *Bot. Gaz.*, 13: 115-118.
- MACOUN, James M., 1889. List of plants collected on the Rupert and Moose Rivers, along the shores of James Bay, and on the islands in James Bay during the summers of 1885 and 1887. — *A. Rep. Geol. Surv. Can.*, 3: 63J-74J.
- MACOUN, John, 1881. List of plants collected in 1880. — Pages 59-69c (Appendix II) in Robert Bell, *Report on Hudson's Bay and some of the lakes and rivers lying to the west of it. Report of Progress for 1879-1880*. *Geol. Nat. Hist. Surv. Can.*, 113 p.
- MACOUN, John, 1904. (Summary of Mr. Spreadborough's collections of plants from James Bay.) — *Geol. Surv. Can., Summary Rep.*, 16: 178A.
- MACOUN, John, 1905. List of plants collected by D.B. Dowling at the mouth of the Ekwan and Albany Rivers, 1901. (misprinted as 1891). — *A. Rep., Geol. Surv. Can.*, 14: 60F.
- MACOUN, John, 1906. List of plants collected by W.J. Wilson along the shores of James Bay and in the valley of the Kapiscau River. — *A. Rep., Geol. Surv. Can.*, 15: 241-243A.
- McANDREWS, J.H., J.L. RILEY & A.M. DAVIS, 1982. Vegetation history of the Hudson Bay Lowland: a postglacial pollen diagram from the Sutton Ridge. — *Naturaliste can.*, 109: 597-608.
- MOIR, D.R., 1958. A floristic survey of the Severn River drainage basin, northwestern Ontario. — Ph.D. thesis, University of Minnesota, Minneapolis, 261 p.
- PALA, S. & A. BOISSONNEAU, 1982. Wetland classification maps for the Hudson Bay lowland. — *Naturaliste can.*, 109: 653-659.
- PALA, S. & W. WEISCHET, 1982. Towards a physiographic analysis of the Hudson and James Bay lowland. — *Naturaliste can.*, 109: 637-651.
- POTTER, D., 1932. Botanical evidence of post-Pleistocene marine connection between Hudson Bay and the St. Lawrence basin. — *Rhodora*, 34: 69-89, 101-112.
- POTTER, D., 1934. Plants collected in the southern region of James Bay. — *Rhodora*, 36: 274-284.
- PREST, V.K., 1970. Quaternary geology in Canada. — Pages 676-764 in R.J.W. Douglas (ed.). *Geology and economic minerals of Canada*. 5<sup>th</sup> Ed. *Geol. Surv. Can., Economic Geol. Rep.*, no. 1, 838 p.
- RILEY, J.L., 1979. Some new and interesting vascular plant records from northern Ontario. — *Can. Fld Nat.*, 93: 355-362.
- RILEY, J.L., 1980. The flora and phytogeography of the Hudson Bay lowland. — M.Sc. thesis, Dept. of Botany, University of Toronto, 436 p.
- RILEY, J.L., 1981a. Provisional wetland classification for the Hudson Bay lowland and the major regional themes. — *Parks and Recreation Section, Northern Region, Ontario Min. Nat. Resources, Cochrane*, 72 p.
- RILEY, J.L., 1981b. Candidate life science nature reserves for Ontario's Hudson Bay lowland. — *Parks and Recreation Section, Northern Region, Ont. Min. Nat. Resources, Cochrane*, 58 p.
- RITCHIE, J.C., 1956. The native plants of Churchill, Manitoba. — *Can. J. Bot.*, 34: 269-320.
- RITCHIE, J.C., 1962. A geobotanical survey of northern Manitoba. — *Arct. Inst. N. Am. Tech. Paper*, 9: 107-132.
- SANFORD, B.V., A.W. NORRIS & H.H. BOSTOCK, 1968. Geology of the Hudson Bay lowlands. — *Geol. Surv. Can. Paper no. 67-60*, 118 p.
- SCHOFIELD, W.B., 1959. The salt marsh vegetation of Churchill, Manitoba. — *Bull. Natn. Mus. Can.*, 160: 107-132.
- SCOGGAN, H.J., 1957. Flora of Manitoba. — *Bull. Natn. Mus. Can.*, 140: 1-619.
- SCOGGAN, H.J., 1969. The native flora of Churchill, Manitoba. — *Ottawa, Dept. of Northern Affairs and Natn. Resources, and Natn. Mus. Can.*, 51 p.
- SCOGGAN, H.J., 1978-1979. The flora of Canada. Vols. 1-4. — *Natn. Mus. Nat. Sci., Publ. Bot.*, 7: 1-1711.
- SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE, 1982. The use of vegetational physiognomy in classifying treed peatlands near southern James Bay, Ontario. — *Naturaliste can.*, 109: 611-619.
- SIMS, R.A., J.L. RILEY & J.K. JEGLUM, 1979. Vegetation, flora and vegetational ecology of the Hudson Bay lowland: a literature review and annotated bibliography. — *Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Inf. Rep. no. 0-X-297*, 177 p.



- SJÖRS, H., 1961. Forest and peatland at Hawley Lake, northern Ontario. — Bull. Natn. Mus. Can., 171: 1-31.
- SJÖRS, H., 1963. Bogs and fens on the Attawapiskat River, northern Ontario. — Bull. Natn. Mus. Can., 186: 45-133.
- TERASMAE, J., 1968. Palynological investigations, Ontario and Nova Scotia. — Geol. Surv. Can., Paper no. 68-1A: 188-189.
- WEBBER, P.J., J.W. RICHARDSON & J.T. ANDREWS., 1970. Post glacial uplift and substrate age at Cape Henrietta Maria, southeastern Hudson Bay, Canada. — Can. J. Earth Sci., 7: 317-325.
- ZOLTAI, S.C., 1979. An outline of the wetland regions of Canada. — Environment Canada, Lands Directorate, Ecological Classification Series, 12: 1-8.



## RÉGIME NIVAL ET VÉGÉTATION CHIONOPHILE À POSTE-DE-LA-BALEINE, NOUVEAU-QUÉBEC

L. FILION

*Département de géographie et Centre d'études nordiques  
Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4*

et

S. PAYETTE

*Département de phytologie et Centre d'études nordiques  
Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4*

### Résumé

L'épaisseur et la densité du couvert de neige ont été mesurées dans sept stations à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec, au cours d'une période de cinq ans (de 1973 à 1978). Cinq stations représentent les milieux conifériens répartis en fonction d'un gradient d'altitude et d'exposition au vent; deux stations sont situées en milieu ouvert. Les données montrent qu'au niveau de l'épaisseur de neige au sol: (1) les formations basses lichéniques et herbacées retiennent peu de neige, étant constamment balayées par le vent, (2) les formations isolées de kummholz et les formations arbustives basses, occupant les dépressions de la roche en place, atteignent un point de saturation relativement constant d'une année à l'autre, (3) les forêts exposées au vent et très enneigées présentent une plus grande variabilité que les forêts moins enneigées, (4) les combes à neige sont toujours les stations les plus enneigées, mais enregistrent les plus grandes variations d'une année à l'autre. La variabilité de la densité du couvert de neige est plus difficile à établir, à cause de la marge d'erreur liée à la technique d'échantillonnage. Elle est plus grande en début (novembre) et en fin de saison (mai).

Ces observations suggèrent que les forêts très enneigées et les combes à neige sont sensibles aux variations climatiques annuelles, captant le surplus de neige en période particulièrement neigeuse ou venteuse. L'enneigement excessif et le déneigement tardif expliquent la présence dans ces milieux de nombreuses espèces chionophiles, dont près de la moitié sont des taxons d'affinité arctique. Les combes à neige semblent exister depuis longtemps. La datation  $^{14}\text{C}$  de deux horizons organiques enfouis indique que ce régime de fort enneigement prévaut depuis au moins 2 200 ans B.P. et que des conditions similaires ont également été enregistrées pendant une période indéterminée vers 4 300 ans B.P.

### Abstract

The thickness and the density of snow cover were measured at seven sampling sites near Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec, during five years, from 1973 to 1978. Five sites were chosen to represent coniferous forest stands along altitudinal and wind exposure gradients, and two sites were located in open situations. Data on snow thickness show that: (1) low herbaceous and lichen formations accumulate little snow, because they are constantly wind-swept; (2) in isolated krummholz and low shrub formations which are located in depressions in the bedrock, saturation points of snow accumulation are relatively constant from year to year; (3) wind-exposed forests which accumulate large quantities of snow show more variations in snow thickness than forests with less snow accumulation; (4) snow beds are the sites with the deepest accumulation of snow, but they show the largest variations from year to year. Variations in density of snow cover are more difficult to document because of the largest error in the sampling technique. Snow density is higher at the beginning (November) and at the end (May) of the season.

These observations suggest that snow beds and forests with large snow accumulation are very sensitive to annual climatic variations, because they catch snow surplus in periods which are especially snowy or windy. Abundant snow accumulation and late snow melting would explain the occurrence in these sites of many chionophilous species, almost half of these being taxa of arctic affinities. Snow beds appear to have been present in these sites for a long time:  $^{14}\text{C}$  dating of two buried organic horizons showed that this heavy snow accumulation regime exists at least since 2200 B.P. Similar conditions were also recorded for an indeterminate period around 4300 B.P.

### Introduction

Les climats frais, humides et venteux de la péninsule du Québec-Labrador sont favorables à de fortes accumulations de neige. La persistance du manteau nival au sol pendant de longs mois n'est pas sans modifier aussi les conditions climatiques, grâce à un albédo très élevé. Par sa position à des latitudes moyennes et sa proximité de grandes sources d'humidité atmosphérique comme l'Atlantique Nord et les mers bordières, la péninsule est le lieu privilégié d'abondantes chutes de neige (Barry & Hare, 1974). Cette situation est redevable à la position quasi permanente des masses cycloniques dans l'est de l'Amérique du Nord pendant l'hiver (Hare, 1973). Du reste, c'est bien au centre de la péninsule où l'on a pu estimer les plus grandes épaisseurs de glace de l'inlandsis laurentidien (Flint, 1971), où l'on a observé la disparition la plus tardive des glaces wisconsiniennes (Bryson *et al.*, 1969) et que l'on croit être une des régions les plus susceptibles de s'englacer rapidement lors du prochain cycle glaciaire (Ruddiman & McIntyre, 1979).

Dans cette perspective, l'étude de la neige et de ses effets dans le paysage revêt plusieurs dimensions, dont une des plus importantes est sans doute leur variabilité dans le temps et l'espace. Est-ce qu'une baisse des températures est l'amorce de changements climatiques importants? Au contraire, est-ce qu'une augmentation de la précipitation neigeuse peut être le catalyseur de changements sensibles du climat, comme semblent le suggérer Andrews *et al.* (1972) à la Terre de Baffin? Au Québec, de telles données sont peu nombreuses, mais on reconnaît qu'à une augmentation de la nébulosité (cyclones) correspond une diminution des températures (Payette & Lajeunesse 1980). De façon générale, il semble que de faibles ajustements dans la circulation générale de l'atmosphère peuvent modifier sensiblement le climat actuel et expliquer l'ensemble des changements climatiques survenus depuis le Tardiglaciaire (Hare, 1973).

Dans quelle mesure pouvons-nous retracer dans le paysage cet ensemble dynamique que constitue le climat? Une façon d'aborder ce problème consiste à étudier l'enneigement et ses effets, à court et à long termes, dans des régions particulièrement sensibles aux variations thermiques. La zone hémiarctique apparaît à cet égard comme une bande bioclimatique stratégique, car elle est un lieu de rencontres très fréquentes de masses d'air arctiques et extra-tropicales (Barry & Hare, 1974). Les conditions climatiques froides de l'Hémi-Arctique se manifestent dans le paysage par une mosaïque de milieux forestiers et de milieux ouverts. Ce paysage de toundra forestière montre dans sa structure l'influence déterminante de l'hiver, dont l'expression la plus articulée est sans doute celle de la neige. C'est dans cette bande bioclimatique que l'on observera la limite méridionale des combes à neige de basses terres. C'est aussi dans ces régions froides que les contrastes des conditions d'enneigement et de déenneigement des milieux sont fortement exprimés (Filion & Payette, 1976). Il apparaît donc pertinent de caractériser la dynamique nivale de ces milieux selon une perspective spatio-temporelle. Un tel exercice devrait nous permettre de connaître le régime nival et ses effets sur la végétation et les formes de terrain; en retour, les caractéristiques biophysiques des milieux hémiarctiques devraient exprimer la constance ou la nature changeante du régime nival.

La présente étude a été entreprise dans la région de Poste-de-la-Baleine (55°17' N.) sur la côte orientale de la baie d'Hudson et a pour but de caractériser le régime nival d'un ensemble de milieux représentatifs de la zone hémiarctique et de vérifier sa variabilité à court terme et à long terme. Sachant que les conditions climatiques holocènes ont varié plus ou moins fortement, on tentera dans ce travail de montrer que les changements du régime nival de la région sont le reflet d'un climat instable.

Ce travail a été effectué dans une vallée située au nord de Poste-de-la-Baleine. Les méthodes d'étude de la végétation et de la neige ont été signalées ailleurs (Filion, 1976; Filion & Payette, 1976). Les mesures d'enneigement et de déneigement ont été prises pendant cinq ans. L'analyse des échantillons dendrochronologiques a été faite en s'inspirant du travail de Fritts (1976) et celle des sols selon la Commission canadienne de pédologie (1978).

### Influence de la neige sur la végétation

#### COMBES À NEIGE

Dans les combes à neige, l'influence de la neige se manifeste par l'apparition d'une flore particulière dite chionophile. Les espèces végétales répondent aux conditions créées par l'accumulation excessive de neige (3 à 5 m) et sa disparition tardive, ainsi qu'à la réduction significative de leur saison de croissance. La flore des combes à neige est représentée par des espèces herbacées et arbustives naines, des bryophytes et quelques lichens. C'est au niveau de la strate herbacée que la flore est la plus diversifiée. Dans la région de Poste-de-la-Baleine, plusieurs plantes vasculaires présentent une distribution exclusive ou quasi exclusive aux milieux très enneigés. Ce sont *Oxyria digyna* (L.) Hill, *Salix herbacea* L., *Sibbaldia procumbens* L., *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab., *Woodsia glabella* R. Br., *Carex atrofusca* Schkuhr., *Carex lachenalii* Schkuhr., *Anemone richardsonii* Hock., *Ranunculus allenii* Robius., *Ranunculus pygmaeus* Wahl., *Arabis alpina* L., *Parnassia kotzebuei* Cham., *Saxifraga rivularis* L., *Epilobium alpinum* L., *Taraxacum phymatocarpum* Wahl., *Gentiana amarella* L. et *Veronica alpina* L.

Les espèces végétales composant la flore des combes à neige ont été réparties en groupes phytogéographiques (tableau I) définis selon les critères proposés par Payette &

Lepage (1977). Le spectre régional (en incluant les espèces de combes à neige) a également été déterminé à partir de la liste floristique établie par Maycock (1968), à l'aide des collections de Baldwin (1948), et celle de Forest & Legault (1977).

Les résultats démontrent que la flore des combes à neige comporte nettement plus d'éléments arctiques (incluant les éléments arctiques-alpins) que la flore régionale (tableau I). Cette différence importante est compensée par une plus grande proportion de taxons boréaux et l'apparition de taxons tempérés dans le spectre régional. Ces résultats traduisent aussi l'existence de certaines conditions écologiques dans ces milieux analogues à celles de l'Arctique, notamment au niveau de la durée de la saison de croissance. Le cycle végétatif court est en effet une caractéristique importante des plantes arctiques leur permettant de s'adapter à une saison de croissance relativement brève (Savile, 1972).

Dans ces milieux très enneigés, les bryophytes sont relativement bien représentées. Les espèces suivantes ont été observées: *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Limpr., *Dicranum fuscescens* Turn., *Dicranum muehlenbeckii* B.S.G., *Dicranum scoparium* Hedw., *Dicranum spadicum* Zett., *Drepanocladus badius* (C.J. Hartm.) Roth, *Hylocomium pyrenaicum* (Spruce) Lindb., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Pohlia rothii* (Corr. & Limpr.) Broth., *Barbilophozia hatcheri* (Evans) Loeske, *Bartramia stricta* Brid., *Conostomum tetragonum* (Hedw.) Lindb. et *Pogonatum urnigerum* (Hedw.) P. Beauv. La présence d'une strate muscinale bien développée dans ces milieux répond aux conditions d'humidité créées par la fonte de la neige et à la saturation du sol en eau pendant la plus grande partie de l'été (Billings & Bliss, 1959). Au niveau des espèces lichéniques, *Cladonia ecmocyna* (Ach.) Nyl. semble être associé aux conditions d'enneigement excessif dans la région de Poste-de-la-Baleine. Les conditions d'humidité qui prévalent dans

TABLEAU I

Groupes phytogéographiques de la région de Poste-de-la-Baleine et des combes à neige

	Arctique	Boréal	Tempéré	Cosmopolite
Poste-de-la-Baleine	30,5%	63,5%	4,5%	0,5%
Combes à neige	42,0%	57,0%	0,0%	1,0%

ces milieux, la dominance d'un substrat rocheux et la faible dimension des combes à neige paraissent peu favorables au développement d'un couvert lichénique important. Payette & Lajeunesse (1980) ont observé une situation différente dans les combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles où ils distinguent une bande chionophile à *Stereocaulon paschale* et *Salix herbacea* et une bande périphérique à *Betula glandulosa* Michx. également absente des combes à neige de la région étudiée à Poste-de-la-Baleine.

#### VERSANTS TRÈS ENNEIGÉS

Le gradient de déneigement est également souligné par la présence de *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab. dans la région étudiée. La distribution de cette plante arctico-alpine a fait l'objet d'une étude particulière (Poirier, 1974) le long de cette vallée. La présence de cette espèce a été notée systématiquement le long de lignes perpendicu-

lares au grand axe de la vallée, distribuées à tous les 100 m de distance depuis le bord de la mer jusqu'à une altitude de 200 m (5 km de la mer). La présence de l'espèce a été notée en fonction des unités topographiques suivantes: sommet, versant exposé au nord, contact versant-vallée d'exposition nord, fond de la vallée, contact versant-vallée d'exposition sud et versant exposé au sud.

Absente des sommets, *Phyllodoce caerulea* apparaît d'abord au contact versant-vallée et sur le versant exposé au nord, à une distance de 2,5 km du bord de la mer, soit à une altitude de 90 m (fig. 1). Elle se maintient dans ces unités topographiques jusqu'au niveau supérieur de la vallée. Dans le fond de la vallée, au contact versant-vallée et sur le versant exposé au sud, l'espèce apparaît à une altitude de 140 m, soit à partir d'une distance de 4,5 km de la mer.

La distribution de cette espèce met en évidence l'influence du microclimat plus froid des façades exposées au nord sur le déneige-

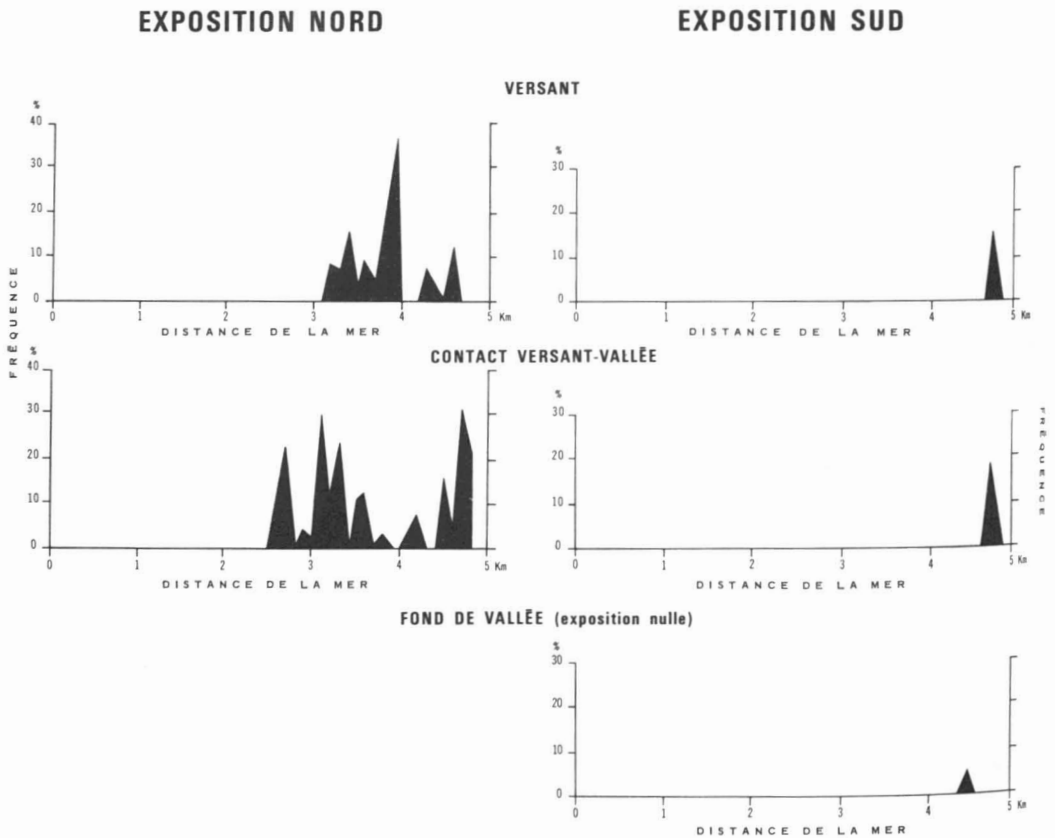


Figure 1. Distribution de *Phyllodoce caerulea* en fonction des unités topographiques et de l'exposition le long d'un transect de 5 kilomètres (d'après Poirier, 1974).

ment. Son apparition à une altitude plus élevée sur le versant exposé au sud et dans le fond de la vallée souligne aussi l'effet de compensations microclimatiques de l'altitude et traduit l'importance du contrôle climatique sur les phénomènes biologiques dans les régions froides.

La distribution de l'espèce a été cartographiée dans le secteur où elle était la plus fréquente, soit dans la portion orientale de la vallée (fig. 2). La forme plutôt linéaire des plages cartographiques rend compte de la distribution relativement continue de l'espèce sur le rebord inférieur des versants exposés au nord. Elle apparaît de façon ponctuelle, en petites colonies, dans les combes à neige ou sur leur pourtour, sur le versant exposé au sud, à la lisière ou au sein des massifs forestiers très enneigés. Une superposition de cette carte à celle de l'enneigement maximum de la même région effectuée en mars (fig. 3) montre que la distribution de *Phyllodoce caerulea* est étroitement associée aux secteurs très enneigés, où l'accumulation de neige au sol est supérieure à 1 m et où le déneigement est relativement tardif, de la fin mai en forêt à la mi-juillet dans les combes à neige.

#### FORÊTS TRÈS ENNEIGÉES

Outre *Phyllodoce caerulea*, on observe dans les forêts d'épinettes les plus enneigées (accumulation parfois supérieure à 2 m) plusieurs espèces chionophiles dont *Oxyria digyna* et *Sibbaldia procumbens*. L'influence de la neige sur la végétation de sous-bois se manifeste par la présence de ces éléments de combe à neige et par l'apparition de petites prairies dominées par *Deschampsia*

*flexuosa* (L.) Trin. Ces plaques herbacées se situent à l'emplacement de congères qui disparaissent tardivement, en général vers la fin du mois de mai ou au début du mois de juin. Bien que moins étendues, ces prairies sont analogues à celles observées dans les pessières subalpines des Chic-Chocs (Boudreau, 1981). En compromettant les tentatives d'établissement des plantules d'épinettes, la disparition tardive de ces congères est en grande partie responsable de l'ouverture des forêts exposées et très enneigées. Ces dernières se situent dans la portion la plus élevée du gradient altitudinal.

#### Variabilité à court terme des conditions d'enneigement

Sept stations d'un réseau initial de 50 stations (Filion & Payette, 1976) ont été retenues dans le but d'étudier la variabilité à court terme des conditions d'enneigement dans la région. L'épaisseur et la densité de la couverture neigeuse ont été mesurées mensuellement d'octobre à juin (durant la deuxième semaine de chaque mois), pendant une période cinq ans, soit de 1973 à 1978. Les trois premières stations correspondent à des massifs forestiers situés à des altitudes respectives de 100, 135 et 175 m. La station 4 est localisée au sein de la forêt la plus élevée (station 3) et correspond à l'emplacement d'une prairie nivale, alors que la station 5 se retrouve dans une formation de verticilles (Payette, 1974) très exposée. Les deux dernières stations représentent les milieux ouverts, soit une combe à neige (station 6) et une fracture dans la roche en place (station 7).

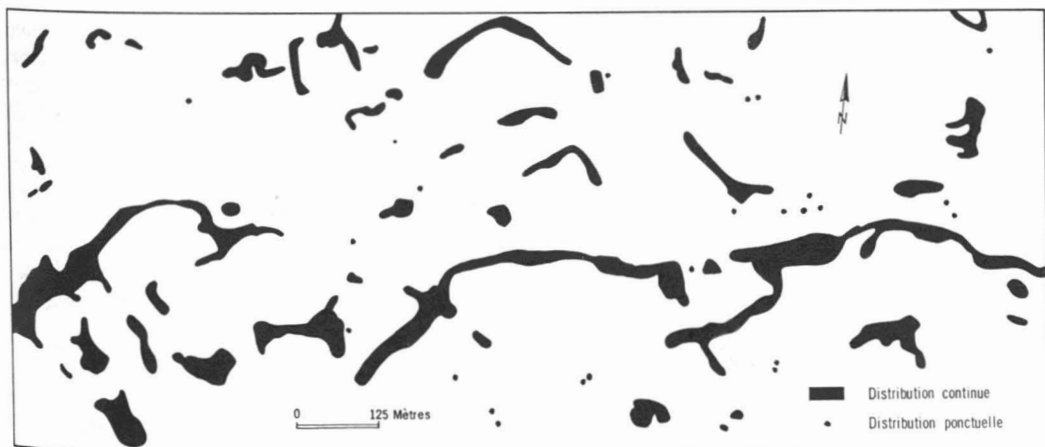


Figure 2. Distribution de *Phyllodoce caerulea* dans la région étudiée.

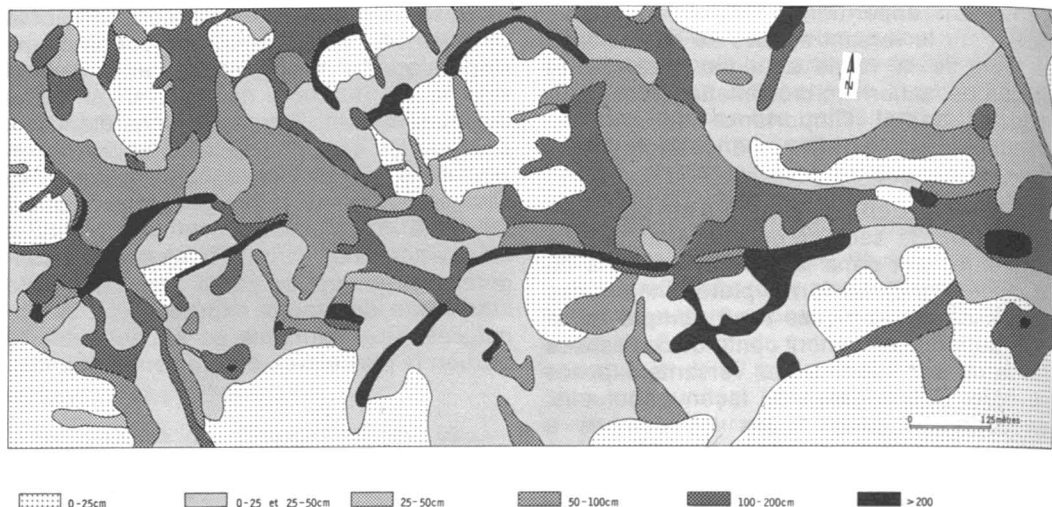


Figure 3. Enneigement maximum dans la région étudiée (mars 1974).

#### MILIEUX FORESTIERS (fig. 4)

##### Station 1

La moins élevée en altitude, cette station représente une forêt protégée de l'action du vent. On y observe une augmentation graduelle de la quantité de neige au sol jusqu'en mars, période où elle dépasse rarement 60 cm d'épaisseur. De toutes les stations étudiées, c'est celle qui présente la plus faible variabilité d'une année à l'autre quant à l'épaisseur du couvert de neige, soit  $\pm 9$  cm. L'écart-type moyen mensuel le plus fort s'observe en mai, au moment où la fonte peut s'effectuer très rapidement à la faveur de quelques jours chauds et ensoleillés.

La densité du couvert de neige augmente graduellement au cours de l'hiver, passant de 0,14 en novembre à 0,26 en mai. Les valeurs relativement élevées d'avril et mai s'expliquent par la présence de neige de sublimation à la base du profil, par la saturation du couvert de neige en eau de fonte ou de précipitation et par la présence de couches de glace. C'est d'ailleurs pendant cette période, de même qu'en novembre, que l'écart-type moyen mensuel est le plus fort. Cette densité variable dépend de l'instabilité climatique en automne et au printemps causée par une alternance de précipitation en pluie et en neige et de cycles gel-dégel fréquents.

##### Station 2

Elle se situe dans une forêt plus élevée en altitude (135 m) que la précédente. La courbe d'enneigement reflète une tendance tout à fait similaire à celle d'une forêt protégée (station 1), bien que la quantité de neige au sol y soit légèrement supérieure pendant toute la saison. L'épaisseur maximale atteinte en mars est de 1 à 1,20 m. L'épaisseur moyenne de neige pour l'ensemble de l'hiver ( $70 \pm 14,52$  cm) varie assez peu d'une année à l'autre et, comme à la station précédente, c'est en mai que l'on observe l'écart-type mensuel le plus élevé.

La densité moyenne ( $0,24 \text{ g/cm}^3$ ) est plus élevée que dans la forêt précédente. L'augmentation de novembre à mai est faible, les valeurs étant élevées au début de l'hiver (0,22) et relativement constantes par la suite. La variabilité est également plus grande en novembre et en mai. L'écart relativement grand en janvier vient du fait que le relevé effectué en janvier 1977 a suivi une période de précipitation abondante de neige, ce qui a diminué d'autant la valeur de densité et augmenté l'écart par rapport à celui des autres années.

##### Station 3

C'est la station la plus élevée en altitude (175 m) et la plus exposée au vent. La quantité de neige au sol y est nettement plus



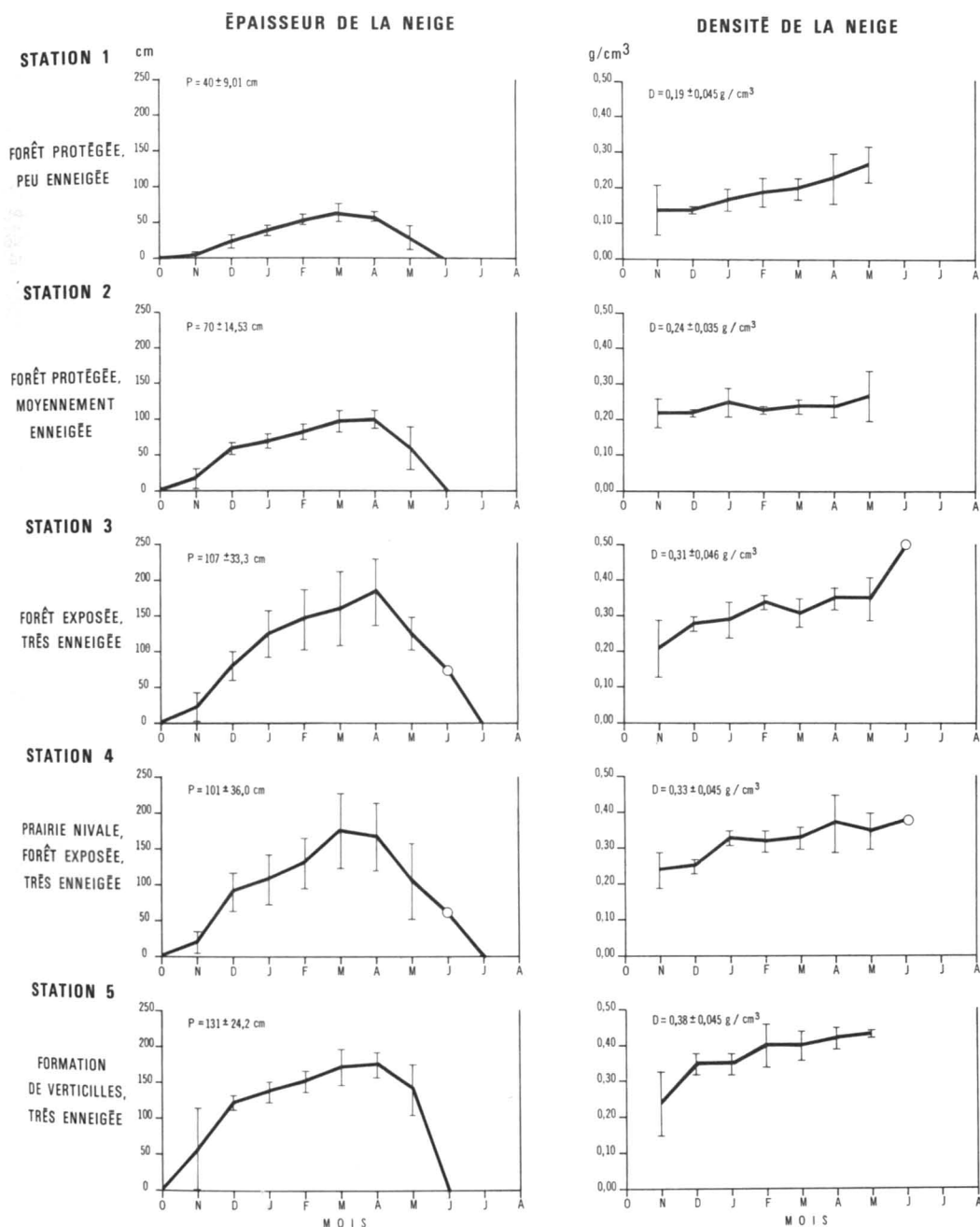


Figure 4. Épaisseur et densité du couvert de neige dans les milieux forestiers (le cercle indique que la valeur a été enregistrée une seule année).

grande que dans les deux stations précédentes, et ce pendant tout l'hiver. Le gradient altitudinal et climatique explique en partie cet enneigement important; en plus, les forêts exposées captent une quantité appréciable de neige poudrée par le vent.

En général, l'épaisseur maximale de neige (environ 2 m) est atteinte en avril. La valeur la plus élevée (2,54 m) a été enregistrée en avril 1976. L'épaisseur moyenne de neige pour l'ensemble de l'hiver est de  $107 \pm 33,3$  cm. La variabilité d'une année

à l'autre est plus grande que dans les forêts protégées, surtout en mars et en avril. Les milieux exposés et susceptibles de recevoir le trop-plein de neige poudrée par le vent seraient en effet les plus sensibles aux variations du régime de précipitation et de vent en hiver. Ainsi, les précipitations neigeuses plus abondantes au cours de l'hiver 1975-1976, le plus neigeux entre 1973 et 1978, ont permis une accumulation considérable de neige, nettement plus élevée que celle des autres années. Alors que dans les deux stations précédentes, le déneigement s'amorce de façon significative en avril, il ne s'effectue ici qu'en mai. La présence de neige au sol en juin (81 cm) n'a été observée qu'en 1976. L'enneigement excessif en cette année de fortes précipitations neigeuses (225 mm/eau d'octobre 1975 à juin 1976 pour une moyenne des quatre autres années de 187,5 mm/eau) a donc entraîné un déneigement plus tardif.

La densité moyenne du couvert de neige est élevée dans cette forêt exposée ( $0,31 \text{ g/cm}^3$ ). Déjà en décembre elle atteint 0,28, ce qui rend compte de l'importance du vent dans les conditions de déposition et de compaction du couvert de neige. C'est également en novembre qu'on observe la plus grande variabilité de la densité d'une année à l'autre.

#### Station 4

Cette station se situe tout près de la précédente, à l'emplacement d'une prairie nivale dominée par *Deschampsia flexuosa*. Les valeurs moyennes de cinq ans ne démontrent pas un enneigement plus important que dans cette station qu'ailleurs dans la forêt (station 3). En comparant l'épaisseur maximale de neige enregistrée dans ces deux stations pour les mêmes années, on obtient des valeurs d'enneigement nettement plus importantes dans la prairie nivale pour deux années, soit en 1973-1974 et en 1976-1977. Pour les autres années, la quantité maximale de neige au sol est légèrement plus importante dans la forêt (station 3) que dans cette plaque herbacée (station 4). La présence de neige en juin n'a été observée qu'une seule année, soit en 1974.

La densité moyenne du couvert de neige ( $0,33 \pm 0,045 \text{ g/cm}^3$ ) est légèrement plus élevée qu'ailleurs dans la forêt ( $0,31 \pm 0,046 \text{ g/cm}^3$ ). Les ouvertures dans la forêt créent en effet des aires de turbulence et l'emprise du vent dans ce milieu augmente la compaction et la densité de la neige. Ces valeurs plus élevées sont enregistrées au

maximum de l'enneigement, soit en mars et en avril, et l'écart a été le plus grand en 1973-1974. L'hiver 1973-1974 a d'ailleurs été le plus froid de la période d'observation, les mois de janvier à avril ayant donné une température moyenne inférieure à celle des cinq années.

Ces observations suggèrent que la formation des plaques herbacées en milieu forestier résulte soit d'un régime épisodique de fort enneigement comme en 1975-1976, soit de conditions climatiques rigoureuses en hiver causées par des températures très basses et des périodes venteuses augmentant la compaction du couvert de neige (conditions rencontrées en 1973-1974) ou de températures basses retardant la fonte au printemps (avril et mai). L'action combinée de ces facteurs entraîne la disparition tardive des congères et se traduit par la présence de prairies comportant plusieurs espèces chionophiles.

#### Station 5

Elle se situe dans une formation de verticilles d'épinettes blanches. C'est le plus enneigé et le plus exposé des milieux conifériens échantillonnés. La courbe de l'enneigement se caractérise par une augmentation rapide d'octobre à décembre et lente de décembre à avril. Elle rend compte de l'efficacité de cette structure végétale haute à capter et retenir une quantité importante de neige poudrée par le vent et ce dès le début de la saison hivernale. L'augmentation mineure au pléni-hiver est due à la saturation précoce de ce boisé de faible dimension. Le point de saturation s'élève pendant les premières années de croissance des arbres et se stabilise à quelques mètres au-dessus de la surface du sol, entraînant la formation d'un verticille de branches au contact air-neige (Payette, 1974).

La présence de verticilles souligne à cet égard l'alternance de conditions hivernales changeantes. Nous présentons à la figure 5 la croissance radiale de deux tiges d'un verticille d'épinette blanche. Ces deux tiges montrent un patron de croissance similaire. Bien que de telles courbes indiquent généralement l'influence des conditions écologiques sur la croissance pendant la saison estivale, elles mettent en évidence l'importance des conditions hivernales sur le développement éventuel de l'appareil chlorophyllien. Ainsi, ces tiges ont connu une très faible croissance dès leur apparition dans la zone d'érosion nivéo-éolienne. Leur crois-

sance très lente au début semble attribuable aux conditions stationnelles sévères, où le développement de l'appareil chlorophyllien entre environ 1815 et environ 1870 a été limité non seulement par des étés probablement frais et humides, mais par des hivers froids et venteux. Différentes de la croissance normale d'un individu arborescent depuis le stade plantule jusqu'à l'état adulte, ces courbes de croissance suggèrent l'incidence de conditions hivernales érosives pendant une bonne partie du 19<sup>e</sup> siècle qui devaient causer une forte mortalité des pseudophylles; au cours de cette période, la croissance radiale ne dépassait pas 0,02 mm/an. L'expansion faible mais graduelle de l'appareil chlorophyllien et surtout l'apparition d'une période climatique relativement clémente entre 1870 et 1890 ont favorisé une augmentation soudaine de la croissance; à cette époque, il est possible qu'une partie importante des pseudophylles se situait alors au-delà de la zone érosive. Malgré un certain refroidissement du climat après 1890, la croissance radiale a été généralement meilleure au cours du 20<sup>e</sup> siècle. Bien que plusieurs hivers au cours du 20<sup>e</sup> siècle aient été semblables à ceux du 19<sup>e</sup> siècle, l'éloignement graduel des points de croissance des tiges de la zone érosive nivéo-éolienne devait assurer le développement de l'appareil chlorophyllien. En effet, la croissance des tiges est devenue normale et a subi des variations reliées principalement aux conditions écologiques estivales.

Dans cette station, la quantité de neige retenue au sol a été relativement constante pendant les cinq années d'observation, sauf en début (novembre) et en fin de saison (mai).

La densité moyenne du couvert de neige est élevée ( $0,38 \pm 0,045 \text{ g/cm}^3$ ), à cause de l'action prépondérante du vent dans ce milieu. Elle augmente graduellement au cours de la saison; la plus grande variabilité s'observe en novembre. L'écart-type relativement grand en février provient d'une mesure très élevée obtenue en 1974 (0,52), alors que la moyenne des quatre autres années est de  $0,38 \text{ g/cm}^3$ .

#### MILIEUX OUVERTS (fig. 6)

##### Station 6

Elle est située dans une combe à neige, au pied d'une dénivellation de quelque 5 mètres dans la roche en place. Les données des cinq années indiquent que l'accumulation de neige est toujours très importante dans cette dépression; l'épaisseur maximale a varié entre 4,81 m (mars 1974) et 5,56 m (avril 1977). Le point de saturation de cette dépression semble près de 5,50 m, seuil au-delà duquel elle ne peut accueillir une quantité supplémentaire de neige. Le comblement se fait de façon métachronique d'une année à l'autre. En 1976-1977, on enregistrait dès décembre 3,42 m de neige dans la combe étudiée. Ce n'est qu'en janvier que l'épaisseur de neige atteignait 2,5 m en 1974-1975, 1975-1976 et 1977-1978. Il fallait attendre le mois de février avant que l'accumulation ne soit de 1,89 m en 1973-1974 et 4,81 m en mars. On observe donc une grande variabilité pour ces mois d'une année à l'autre. La dynamique de l'enneigement des combes à neige est directement influencée par le régime de précipitation neigeuse au cours de la saison. Un automne neigeux entraînera

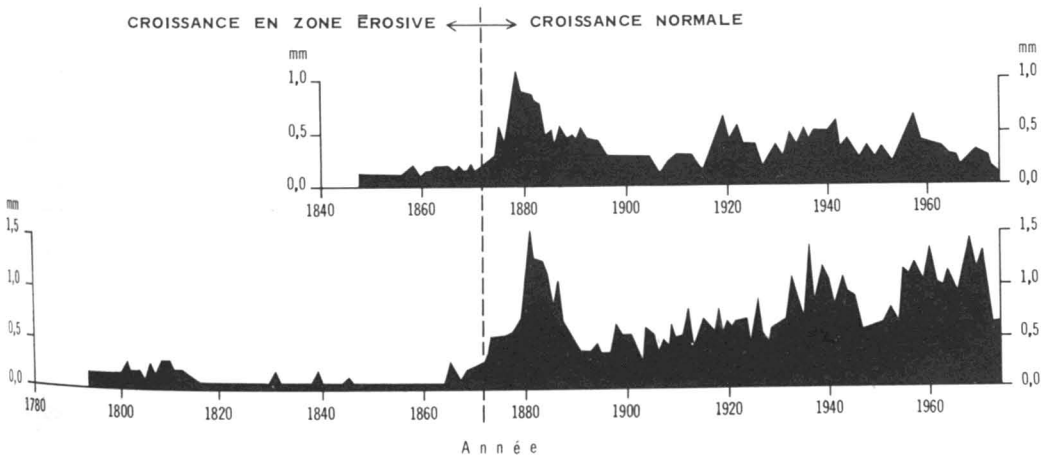


Figure 5. Croissance radiale de deux tiges d'une verticille d'épinette blanche.

une saturation hâtive des combes (décembre, janvier), alors qu'un hiver précoce, froid et sec, causera une saturation plus tardive (février, mars). En période d'enneigement maximum cependant (mars, avril), la quantité de neige au sol varie assez peu d'une année à l'autre. Ce milieu est donc soumis à un régime de fort enneigement, même pendant un hiver de faibles précipitations, à cause de l'importante redistribution de la neige par le vent.

Au cours de certains hivers particulièrement neigeux et venteux, le seuil de saturation des combes est atteint, de sorte que la forte accumulation de neige peut s'étendre à quelques mètres au-delà des communautés chionophiles. Nous avons pu ainsi enregistrer l'enneigement d'une épinette blanche située tout près d'une combe à neige. À la fin de mars 1973, cette épinette de 5 m de hauteur était enfouie sous 4 m de neige; elle semble ainsi subir de façon épisodique les conditions écologiques propres aux espèces chionophiles. La courbe de croissance radiale

de cet individu (fig. 7) montre une diminution de la croissance avec le temps. Cependant, les variations d'épaisseur des cernes annuels semblent souligner l'influence d'autres facteurs. Dans quelle mesure les variations de croissance peuvent être reliées au régime intermittent de combe à neige? Il faudrait analyser la croissance de plusieurs individus vivant sous ces mêmes conditions pour obtenir une réponse satisfaisante, ce qui n'a pu être fait dans la région étudiée. Il est possible, toutefois, que les faibles croissances enregistrées par cette épinette soient causées par une fonte tardive de la neige, due à une accumulation excessive à la périphérie de la combe comme en 1973 (fig. 7). Par ailleurs, ce déneigement tardif pourrait être causé certaines années par des températures estivales relativement basses, ce qui n'a pourtant pas été le cas au cours de l'été 1973, un des plus chauds de la décennie 1970.

La densité du couvert nival est très élevée dans cette combe à neige, où la déposition

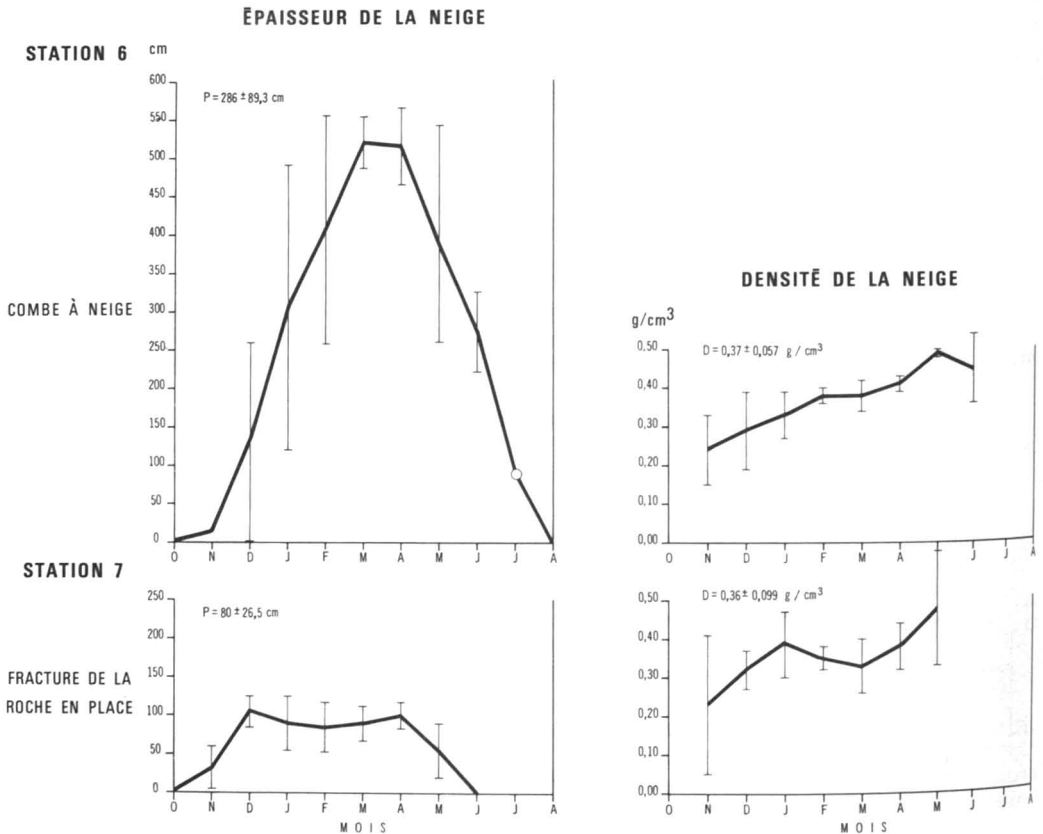


Figure 6. Épaisseur et densité du couvert de neige dans les milieux ouverts (le cercle indique que la valeur a été enregistrée une seule année).

se fait sous l'influence du vent. Au début de l'hiver, une profonde dépression dans la neige s'articule au droit de la paroi rocheuse, à cause de la turbulence créée à son contact. Cette dépression s'amenuise au cours de la saison et disparaît finalement avec le comblement. L'échantillonneur volumétrique *Mount Rose* a permis de mesurer la densité des 228 cm de surface. En-deçà de cette épaisseur, la densité mesurée correspond à la densité réelle ( $\pm 10\%$ , Beaumont, 1967) du couvert de neige. Pour une profondeur supérieure, l'échantillonnage cause une sous-estimation de la densité, cette dernière étant plus élevée en profondeur, à cause de la formation de neige de sublimation (Akitaya, 1967; DeQuervain, 1963; Filion & Payette, 1978). La densité de la partie superficielle du profil est élevée, oscillant autour de  $0,40 \text{ g/cm}^3$  de janvier à avril. Elle est assez peu variable d'une année à l'autre, sauf en début et en fin de saison.

#### Station 7

Cette station se localise dans une fracture de la roche en place, profonde d'environ 1 m. Le comblement de cette dépression se fait dès le début de l'hiver; le plafonnement de la courbe d'enneigement de décembre à avril traduit la saturation de ce milieu qui retient environ 80 cm de neige en moyenne.

La variabilité d'une année à l'autre est relativement forte en début et en fin de saison, mais aussi en janvier et février, période pendant laquelle la partie superficielle de la couche nivale est soumise à l'érosion éolienne. Une diminution de l'épaisseur de neige pendant ces mois de faible précipitation neigeuse a d'ailleurs été enregistrée au cours de trois des cinq années d'observation.

La densité du couvert nivale est forte ( $0,36 \text{ g/cm}^3$ ) dans ce milieu exposé au vent. Elle est comparable à celle de la combe à neige et des forêts exposées. Comme dans les autres stations, la variabilité d'une année à l'autre est grande en novembre et en mai.

#### Variabilité à long terme des conditions d'enneigement

Il est possible d'évaluer de façon indirecte la variabilité à long terme du régime nival de la région en étudiant les sols des combes à neige. Comme les combes à neige de la région étudiée se situent généralement dans des dépressions de la roche en place, nous n'avons pu en étudier qu'une seule renfermant des sédiments meubles. Sachant que ces milieux sont particulièrement affectés par la gélifluction (Payette & Lajeunesse, 1980), l'examen des profils de sol révèle

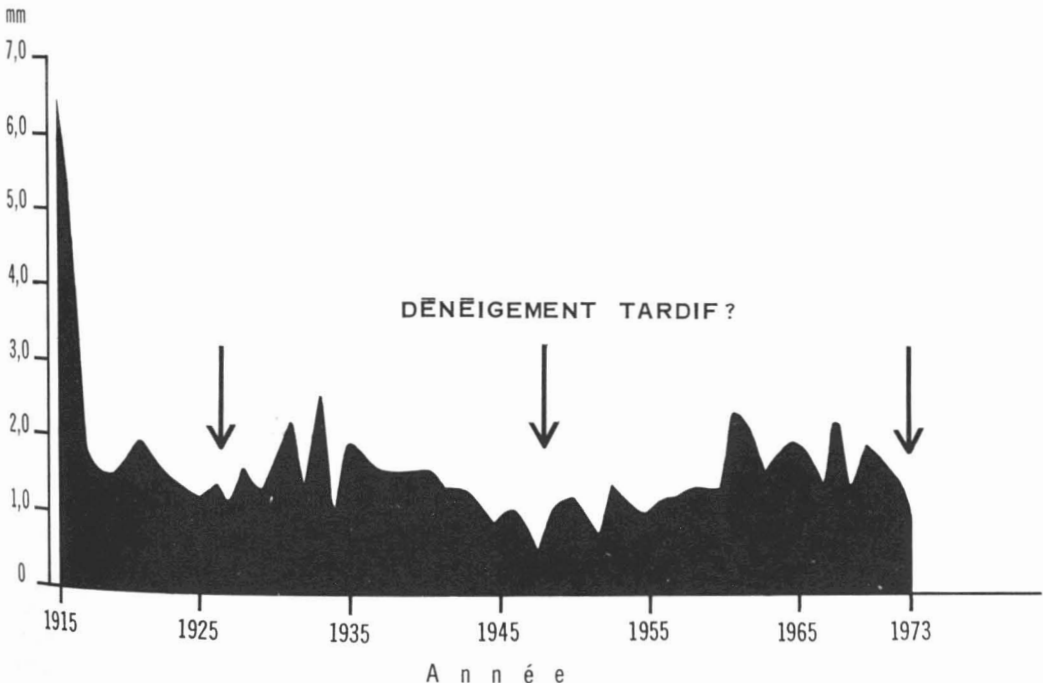


Figure 7. Croissance radiale d'une épinette blanche à proximité d'une combe à neige.

généralement le déplacement des sédiments sous forme d'horizons pédologiques involutés, plissés ou discontinus. La présence d'horizons organiques enfouis indique que d'anciennes surfaces de végétation ont été recouvertes par des sédiments gélifluaux au cours de périodes climatiques froides marquant le passage vers un régime de combe à neige.

Nous présentons au tableau II les caractéristiques du profil de sol de la combe à neige étudiée. Ce profil perturbé par la gélifluction comprend des horizons de brunisol dystrique orthique reposant sur une assise de granite micacé fortement arénisé. Deux horizons minéro-organiques enfouis, respectivement à une dizaine et à une vingtaine de centimètres de la surface, ont pu être datés par la méthode du  $^{14}\text{C}$  et ont fourni des âges de  $2\,215 \pm 85$  ans B.P. (I — 11 351) et de  $4\,320 \pm 240$  ans B.P. (I — 11 352). Ces deux échantillons contiennent des charbons de bois et indiquent que des conditions de combes à neige sont apparues plus ou moins rapidement après le passage d'un feu. Le régime de la combe à neige étudiée se serait vraisemblablement établi à ces deux occasions, après la disparition d'un couvert arbustif.

### Discussion

La quantité de neige tombée et la précipitation totale d'une région sont généralement sous-estimées par les techniques standard employées dans les stations météorologiques (Hare, 1971), particulièrement dans les régions venteuses du Nord. L'évaluation de la quantité de neige au sol et des autres caractéristiques du couvert nival présente au contraire moins de problèmes d'échantillonnage. L'étude de l'enneigement et du déneigement des habitats en région froide permet ainsi, de façon indirecte, de préciser l'influence des conditions climatiques hivernales exprimées dans le paysage végétal.

Les résultats du présent travail montrent que la végétation hémis-arctique est fortement influencée par les conditions hivernales; les caractéristiques du couvert de neige semblent étroitement reliées à la distribution des unités topographiques et des structures de végétation (fig. 4 et 6). Plusieurs milieux de la région étudiée doivent leur existence à l'incidence d'une année à l'autre d'un régime nival particulier, représentatif de la toundra forestière; c'est le cas des combes à neige et des formations conifé-

riennes exposées (tableau I et fig. 5). La distribution de certaines espèces végétales chionophiles (fig. 1 et 2) souligne également l'influence de ce régime nival hémis-arctique, où l'importance spatiale des milieux ouverts favorise la redistribution de la neige par le vent. Cette situation fait en sorte que le patron de distribution de la neige (profondeur et densité) est le même d'une année à l'autre, comme l'ont signalé ailleurs d'autres auteurs (Thom & Grandberg, 1970; Sonesson, 1969).

La variabilité annuelle de l'épaisseur et de la densité de la neige, estimée au cours d'une période de cinq ans, diffère selon les milieux. La variabilité de l'épaisseur de neige (entre 18 et 33%) est généralement plus grande que celle de la densité (entre 11 et 27%) dans l'ensemble des stations étudiées; cette différence indique que les conditions de basses températures et de vent sont plus régulières d'une année à l'autre que les conditions de précipitation neigeuse associées à la fréquence et à la durée des incursions de masses d'air cycloniques au cours du pléni-hiver. Par ailleurs, les milieux situés aux deux extrêmes du gradient d'exposition aux vents présentent la moins grande variabilité de profondeur et de densité de la neige. Sous les conditions actuelles du climat de Poste-de-la-Baleine (Wilson, 1968), les milieux ouverts des rochers sont soumis à une forte déflation nivéo-éolienne d'un hiver à l'autre et ne sont que très rarement enneigés comme l'indique la présence de certaines plantes arctiques-alpines, situation commune observée aussi en montagne sur les massifs alpins de l'est de l'Amérique du Nord (Bliss, 1963, 1969; Boudreau, 1981; Tiffney, 1972).

Les conditions de forte exposition nivéo-éolienne paraissent être moins prononcées régionalement au cours du 20<sup>e</sup> siècle par rapport au 19<sup>e</sup> siècle, si l'on en juge par la croissance des verticilles (fig. 5). L'analyse de quelques courbes dendrochronologiques de certaines régions du Québec nordique (Wiseman *et al.*, 1976; Payette, 1976; Morin, 1981) montrent aussi que le 19<sup>e</sup> siècle a été plus froid que le 20<sup>e</sup> siècle. À cette époque, les combes à neige devaient occuper une surface légèrement plus grande; l'installation d'une épinette blanche à proximité de la combe à neige étudiée (fig. 7) s'est faite au tournant du siècle, alors que le climat se réchauffait. Toutefois, l'absence de colonisation des combes à neige de la région par les espèces arborescentes au cours du

TABLEAU II  
Caractéristiques physiques et chimiques du profil de sol de la combe à neige

<i>Horizon</i>	<i>Épaisseur (cm)</i>	<i>pH</i>	<i>M.O. (%)</i>	<i>H</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>Bases totales</i>	<i>C.E.C.</i>	<i>Sat. bases (%)</i>	<i>Sable</i>	<i>Limon</i>	<i>Argile</i>	<i>Fe-pyro (%)</i>	<i>Al-pyro (%)</i>	<i>Fe + Al-pyro (%)</i>
FH	1-4	5,2	34,6	15,5	14,9	4,7	0,9	0,4	20,9	36,4	57	—	—	—	—	—	—
H	1-7	5,6	18,7	8,1	12,6	5,5	0,4	0,2	18,7	26,8	70	—	—	—	—	—	—
Bmg	0-13	5,9	2,1	1,7	10,0	3,2	0,2	0,1	13,5	15,2	89	73,2	22,0	4,8	0,13	0,05	0,18
Hb + Bmgb <sup>1</sup>	0-12	5,7	4,3	3,8	11,4	4,0	0,2	0,1	15,7	19,5	80	67,2	26,0	6,8	0,26	0,13	0,39
Bmgb	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hb + Bmgb + Cb <sup>2</sup>	0-15	5,5	3,5	3,9	11,6	3,7	0,2	0,1	15,6	19,6	80	65,2	28,0	6,8	0,17	0,10	0,27
Cgb	20-30	6,1	1,5	0,8	10,4	2,9	0,2	0,1	13,6	14,4	94	61,2	34,0	4,8	0,15	0,06	0,21

<sup>1</sup> Hb + Bmgb : charbons de bois et matière organique datés à 2 215 ± 85 ans B.P. (I-11 351)

<sup>2</sup> Hb + Bmgb + Cb : charbons de bois et matière organique datés à 4 320 ± 240 ans B.P. (I-11 352)

20<sup>e</sup> siècle contraste avec la situation observée dans les combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles (Payette & Lajeunesse, 1980). La rareté des dépôts meubles dans ces milieux serait en partie responsable de l'absence d'épinettes.

Finalement, l'analyse d'un sol de combe à neige de la région étudiée montre que le régime nival a varié au cours de l'Holocène. Vers 4 300 ans B.P., un régime de combe à neige serait apparu dans la région à la faveur d'un refroidissement climatique. Ce régime aurait été interrompu plus ou moins longtemps avant de réapparaître vers 2 200 ans B.P.; depuis cette époque, il se serait maintenu la plupart du temps. Ces observations s'ajoutent à celles de Payette & Lajeunesse (1980) qui ont signalé l'apparition de combes à neige dans la région de la rivière aux Feuilles depuis 2 600 ans B.P. Dans tous les cas, ces combes à neige seraient apparues après le passage de feux, comme ce fut le cas des prairies subalpines des Rocheuses (Patten, 1963; Brooke, 1965; Billings, 1969; Fonda & Bliss, 1969; Kuramoto & Bliss, 1970). Cette relation entre le passage des feux et l'apparition de régimes de combes à neige suggère que la création de milieux ouverts après feu exerce une grande influence sur la redistribution régionale de la neige par le vent, une indication que les changements climatiques sans être nécessairement de grande amplitude, se manifestent dans le paysage végétal à la faveur d'un changement dans la géographie des structures de végétation et, conséquemment, du régime nival.

### Remerciements

Nous tenons à remercier Charles-A. Côté, responsable de la station du Centre d'études nordiques à Poste-de-la-Baleine, qui a effectué les mesures de neige pendant quatre des cinq années d'observation. Nos remerciements vont aussi à Jacques Michaud et Michel Poirier pour leur aide précieuse sur le terrain au cours de la saison 1973-1974. La collaboration d'Yves Bégin et celle de Louise Marcotte et Andrée G.-Lavoie du Laboratoire de cartographie (Département de géographie, Université Laval) a été grandement appréciée. Ce travail a pu être réalisé grâce à une subvention du Conseil de recherche en sciences naturelles et génie (CRSNG) et du ministère de l'Éducation du Québec (programme FCAC).

### Références

- AKITAYA, E., 1967. Some experiments on the growth of depth hoar. *Physics of snow and ice*.

- Pages 713-723 in Ô. Hirobumi (ed.). *Int. Conf. Low Temp. Sci. Proc.*, 1, Part 2, 1414 p.
- ANDREWS, J.T., R.C. BARRY, R.S. BRADLEY, G.H. MILLER & L.O. WILLIAMS, 1972. Past and present glaciological responses to climate in eastern Baffin Island. — *Quat. Res.*, 2 : 303-314.
- BALDWIN, W.K.W., 1948. Botanical notes on the east coast of James Bay and Hudson Bay. — National Herbarium, Ottawa, 31 p. (non publié)
- BARRY, R.G. & F.K. HARE, 1974. Arctic climate. — Pages 17-54 in J.D. Ives & R.G. Barry (eds.). *Arctic and alpine environments*. Methuen, London, 999 p.
- BEAUMONT, R.T., 1967. Field accuracy of volumetric snow samplers at Mt. Hood, Oregon. *Physics of snow and ice*. — Pages 1007-1013 in O. Hirobumi (ed.). *Int. Conf. Low Temp. Sci. Proc.*, 1, part 2, 1414 p.
- BILLINGS, W.D., 1969. Vegetational pattern near alpine timberline as affected by fire-snowdrift interactions. — *Vegetatio*, 19 : 192-207.
- BILLINGS, W.D. & L.C. BLISS, 1959. An alpine snowbank and its effect on vegetation, plant development and productivity. — *Ecology*, 40 : 388-397.
- BLISS, L.C., 1963. Alpine plant communities of the Presidential Range, New Hampshire. — *Ecology*, 44 : 678-697.
- BLISS, L.C., 1969. Alpine community patterns in relation to environmental parameters. — Pages 167-184 in K.N.H. Greenridge (ed.). *Essays in plant geography and ecology*. Nova Scotia Museum, Halifax, 184 p.
- BOUDREAU, F., 1981. *Écologie des étages alpin et subalpin du mont Jacques-Cartier, parc de la Gaspésie*. Québec. — Thèse M. Sc., Univ. Laval, Québec, 185 p.
- BROOKE, R.C., 1965. The subalpine mountain hemlock zone. Part 1. Ecotypes and biogeocoenotic units. — Pages 79-101 in V.C. Krajina (ed.). *Ecology of Western North America*, vol. 1, U.B.C. Dept. Botany, Vancouver, B.C., 147 p.
- BRYSON, R.A., W.W. WENLAND, J.D. IVES & J.T. ANDREWS, 1969. Radiocarbon isochrones of the disintegration of the Laurentide Ice Sheet. — *Arct. Alp. Res.*, 1 : 1-14.
- COMMISSION CANADIENNE DE PÉDOLOGIE, 1978. Le système canadien de classification des sols. — Direction de la recherche, Ministère de l'Agriculture du Canada, Ottawa, Publ. n° 1646, 170 p.
- DE QUERVAIN, M.R., 1963. On the metamorphism of snow. — Pages 377-390 in W.D. Kingery (ed.). *Ice and snow*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 684 p.
- FILION, L., 1976. Processus d'enneigement et de déenneigement et milieux écologiques subarctiques. Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — Thèse M.Sc., Univ. Laval, Québec, 133 p.
- FILION, L. & S. PAYETTE, 1976. La dynamique de l'enneigement en région hémiarctique.



- Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — Cah. Géogr. Québec, 20 : 275-302.
- FILION, L. & S. PAYETTE, 1978. Observations sur les caractéristiques physiques du couvert de neige et sur le régime thermique du sol à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — Géogr. phys. Quat., 32 : 71-79.
- FLINT, R.F., 1971. Glacial and quaternary geology. — Wiley, New York, 892 p.
- FONDA, R.W. & L.C. BLISS, 1969. Forest vegetation of the montane and subalpine zones, Olympic Mountains, Washington. — Ecol. Monogr., 39 : 271-301.
- FOREST, P. & A. LEGAULT, 1977. Analyse de la flore vasculaire de Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — Naturaliste can., 104 : 543-566.
- FRITTS, H.C., 1976. Tree rings and climate. — Academic Press, New York, 567 p.
- HARE, F.K., 1971. Snow-cover problems near the Arctic tree-line of North America. — Rep. Kevo Subarctic Res. Stn., 8 : 31-40.
- HARE, F.K., 1973. On the climatology of post-Wisconsin events in Canada. — Arct. Alp. Res., 5 : 169-170.
- KURAMOTO, R.T. & L.C. BLISS, 1970. Ecology of subalpine meadows in the Olympic Mountains, Washington. — Ecol. Monogr., 40 : 317-347.
- MAYCOCK, P.F., 1968. The flora and vegetation of the southern Manitounouk Islands, southeast Hudson Bay, and a consideration of phytogeographical relationship in the region. — Naturaliste can., 95 : 423-468.
- MORIN, A., 1981. Les bordures de colonisation forestière des formations à mélèze laricin (*Larix laricina* (DuRoi) K. Koch) à la limite des forêts (rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec). — Thèse M. Sc., Univ. Laval, Québec, 31 p.
- PATTEN, D.T., 1963. Vegetational pattern in relation to environments in the Madison Range, Montana. — Ecol. Monogr., 33 : 375-406.
- PAYETTE, S., 1974. Classification des formes de croissance de *Picea glauca* (Moench) Voss et de *Picea mariana* (Mill.) BSP, en milieux subarctiques et subalpins. — Naturaliste can., 101 : 893-903.
- PAYETTE, S., 1976. Succession écologique des forêts d'épinette blanche et fluctuations climatiques, Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — Can. J. Bot., 54 : 1394-1402.
- PAYETTE, S. & R. LAJEUNESSE, 1980. Les combes à neige de la rivière aux Feuilles (Nouveau-Québec) : indicateurs paléoclimatiques holocènes. — Géogr. phys. Quat., 34 : 209-220.
- PAYETTE, S. & E. LEPAGE, 1977. La flore vasculaire du golfe de Richmond, baie d'Hudson, Nouveau-Québec. — Provancheria, n° 7, 68 p.
- POIRIER, M., 1974. La distribution de *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab. dans la région de Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. — Thèse B. Sc., Univ. Laval, Québec, 37 p.
- RUDDIMAN, W.F. & A. McINTYRE, 1979. Warmth of the subpolar North Atlantic ocean during northern hemisphere ice-sheet growth. — Science, 204 : 173-175.
- SAVILLE, D.B.O., 1972. Arctic adaptations in plants. — Can. Dep. Agric., Res. Br., Monogr. no. 6, 81 p.
- SONESSON, M., 1969. Studies on mire vegetation in the Torneträsk area, Northern Sweden. II. Winter conditions of the poor Mires. — Bot. Notiser, 122 : 481-511.
- THOM, B.G. & H.B. GRANDBERG, 1970. Pattern of snow accumulation in a forest tundra environment, central Labrador-Ungava. — Pages 76-86 in Proc. east. Snow Conf., Albany, N.Y., 111 p.
- TIFFNEY, Jr., W.N., 1972. Snow cover and the *Diapensia lapponica* habitat in the White Mountains, New Hampshire. — Rhodora, 74 : 358-377.
- WILSON, C.V., 1968. Notes on the climate of Poste-de-la-Baleine, Québec. — Nordicana (Centre d'études nordiques, Univ. Laval, Québec), n° 24, 93 p.
- WISEMAN, A., H.C. FRITTS & J. TERASMAE, 1976. Dendroclimatic inferences from Fort-Chimo, Northeastern Canada. [Abstract]. — AMQUA, Tempe, Arizona State University, 170 p.



## PRELIMINARY RESULTS INVESTIGATING THE EFFECT OF LICHEN GROUND COVER ON THE GROWTH OF BLACK SPRUCE

S. COWLES

*Department of Biology, McGill University  
Montréal, Québec H3H 1B1*

### Résumé

Afin de comprendre l'influence de la couverture de lichen d'une pessière à cladonie sur la croissance de l'épinette noire, quatre modes possibles d'action furent considérés: 1) l'altération de la température du sol; 2) l'altération de l'humidité du sol; 3) la perturbation des cycles d'éléments nutritifs; 4) la production de substances allélopathiques. Chacun des 16 traitements choisis représentait une combinaison de température, d'humidité, de teneur en phosphore et azote, et en substances allélopathiques du sol. La croissance d'environ 300 arbres, répartis selon les traitements, fut mesurée pendant 4 ans. Les deux paramètres choisis furent le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) et l'élongation des branches.

La répartition des jeunes arbres fut aussi observée afin d'évaluer la valeur relative des différents habitats. La majorité des jeunes arbres se trouvaient dans une aire de 6 230 m<sup>2</sup> en bordure de la couverture de lichens. Ils s'implantaient également bien dans les sols dénudés à la suite de la chute des arbres causée par le vent. Les substances allélopathiques ralentissent significativement la croissance des branches. L'enlèvement complet de la couverture de lichens produit le même effet. L'addition d'engrais stimule plus la croissance aux endroits recouverts de lichens qu'aux endroits dégarnis. Selon les résultats, les lichens favoriseraient la régénération et la croissance de l'épinette noire.

### Abstract

In a study designed to investigate the effect of lichen ground cover on the growth of black spruce, four mechanisms by which the lichen mat could affect spruce growth were considered: 1) alteration of soil temperature and 2) soil moisture, 3) interference with nutrient cycling, and 4) production of allelopathic chemicals. A series of forest treatment plots were established varying soil temperature, moisture, nitrogen and phosphorus content, and presence of allelopathic chemicals. The study was conducted for four years and involved approximately 300 subject trees in 16 different treatment plots. Tree responses measured were bole diameter change and branch tip elongation. To supplement the mature tree productivity study, a seedling census provided information about seedling establishment success in different habitats.

Lichen mat edge habitats contained the greatest proportion of established seedlings observed in a 6230 m<sup>2</sup> area. Bare ground uncovered by the root base of blown down trees was also a favored habitat. Aquatic leachates from the lichen mat significantly decreased branch tip elongation in mature trees. Complete removal of the lichen, however, caused poor growth response when compared to growth in the control plots. Fertilizer elicited more growth response when applied on top of the lichen mat than when applied on plots where the lichen had been removed. The results of this study show that the net effect of lichen mats on tree growth and regeneration are beneficial.

### Introduction

Lichen woodlands constitute a large part of the boreal forest in North America (Rowe, 1972). Succession after fire in the lichen woodlands has been examined at various locations from Alaska to Newfoundland (Ahti,

1959; Kershaw, 1977; Rowe & Scotter, 1973; Strang, 1973; Viereck, 1973), but one important issue remains unanswered. The effect of the extensive lichen ground cover on the growth of the trees it surrounds has not been documented in field experimentation.

although much speculation would suggest it is important (Larsen, 1980).

This issue has two prominent aspects: one concerns the barrier presented by the lichen mat to seed germination and establishment. In lichen woodlands and other communities with prominent lichen ground cover, very few seedlings have been observed growing within the lichen mat itself (Allen, 1929; Hustich, 1951; Saville, 1963). As a physical barrier covering the soil and preventing spruce seeds from reaching it, the mat is very effective. Biologically, various lichen acids have been shown to inhibit seed germination (Arsenault, 1979; Dauriac & Rondon, 1976; Lawrey, 1977). Underneath the lichen mat, buried seed viability is very low (Johnson, 1975). Fraser (1976) observed that black spruce seeds lost the ability to germinate after being buried under the humus layer for 10-16 months.

The second aspect of lichen mat effects on tree growth is the mat influence on tree productivity. Various observers have commented on the slow growth of the spruce in lichen woodlands (Fraser, 1956; Hustich, 1951; Vowinkel, 1975) and speculated that lichen inhibition of tree growth may contribute to the openness of woodlands (Kershaw, 1978). Nursery experiments with seedlings showed lower growth when the seedlings were surrounded by lichen than when no lichen was present (Brown & Mikola, 1974).

There appear to be at least four mechanisms by which lichen mats can influence the growth of surrounded trees. Lichen thallus absorption of airborne substances is substantial, particularly for metallic ions (Tuominen & Jaakkola, 1973; Puckett & Finegan, 1980). Coupled with the prevention of litter falling to the soil, nutrient cycling in the lichen woodland could be interrupted by the lichen.

Water evaporation from the soil is impeded by the presence of lichen mats; even relatively thin mats significantly reduce the amount of water that would normally evaporate from the soil surface (Kershaw & Rouse, 1971; Wright, 1980). Jeglum (1974) has shown that adequate soil moisture and aeration regimes are important factors in controlling spruce growth. Low soil temperatures typical of the subarctic and soil moisture levels maintained at field capacity by the lichen mat (Lucarotti, 1976) could produce physiological drought in the trees and reduce growth (Kershaw, 1977).

Lichen mats of 8 cm thickness can decrease soil temperatures 2 C compared to adjacent bare ground (Kershaw & Rouse 1976; Nicholson, 1976; Rouse, 1976); this cooling could also decrease tree root metabolism during the growing season (Kershaw, 1977).

Organic acids produced by lichen, in addition to inhibiting seed germination, inhibit the growth of several vascular plants. Brown & Mikola (1974) attributed the reduced seedling growth they observed to allelopathic effects of weak aqueous extracts of lichen acids on mycorrhizal metabolism. Arsenault (1979) showed that some lichen acids decreased the growth of fungi which form mycorrhizae with spruce. Direct uptake of nitrogen and phosphorus by roots can also be significantly reduced (without mycorrhizal interface) by these extracts (Fisher, 1979).

Despite prevalent opinion that lichen mats are detrimental to tree growth and regeneration and that the frequency of natural forest fires releases woodlands from continuous lichen mat inhibition by periodically destroying the lichen mat, it is not clear that lichen mat effects are net deterrents to spruce growth. Northern Québec has a very low natural fire frequency (Simard, 1975) and very dense lichen mats, 10-20 cm, yet lichen woodlands are one of the most common ecosystems (Rowe, 1972). Thus, it is important that this interaction be examined. The objective of this study is to investigate the hypothesis that lichen mats adversely affect spruce growth and regeneration.

### Materials and methods

The site chosen for the study is located 20 km northeast of Schefferville, Québec, in the Labrador Trough. Lichen mats in the area (15-20 cm thick) are generally thicker than other regions of the boreal forest (Ahti, 1959; Kershaw, 1977) and so, would be expected to make more of an impact on tree growth. In the woodland, the dominant constituent of the lichen mat is *Cladina stellaris* (Opiz) Brodo and the most abundant tree is *Picea mariana* (Mill.) B.S.P.

To obtain an indication of lichen mat effects on seedling establishment, a 6230 m<sup>2</sup> plot was chosen for a seedling census according to habitat type. Eight habitats were recognized. A distinction was made between seedlings occurring in undisputed lichen

mat polygon centers and disputed polygon centers, that is where the seedling and mat ages were too close to determine by visual approximation which came first. Polygonal fractures were divided between those having moss covering the bare ground between fractures and those without moss. Moss hummocks, predominantly composed of *Dicranum* sp. and *Polytrichum* sp., decaying spruce boles, patches cleared by blown down trees and uninhabited bare ground were the remaining four types.

To observe the effects on tree growth, fifteen plots comprising ten different manipulation treatments and a control plot were set up (Table I). Approximately 300 trees in the various plots were measured from 1978 through 1980 for changes in diameter at breast height (DBH). DBH of each tree was measured with a steel tape at the beginning and end of each growing season. Branch tips from ten random locations on each tree (four tips from the top third, three each from the middle and bottom thirds of the tree)

were harvested at the end of the 1980 growing season and growth for each of the previous five years along the major branch axis was measured. No terminal leaders were included in the sampling. Trees included in the sampling ranged in DBH from 2 cm to 42 cm. Because growth is dependent on size (Fritts, 1976), percent change in growth rate from the previous year was calculated for diameter and branch growth. The concept of percent change as a means for comparing plant growth rates (Blackman, 1919) has been shown to hold if an assumption of constant rate through time can be met (Kidd *et al.*, 1920). Additionally, in comparing various rates, the rates must be shown to be initially statistically equal. Subsequent departures from equality, for example as in this study, are attributable to experimental perturbations. These assumptions were met for the data in this study and will be documented elsewhere. The mean of the control response was calculated and then subtracted from all observed individual percent changes. The effect of this calculation

TABLE I

Treatments used to vary soil temperature and moisture, presence of allelopathic agents, and nutrient cycling †

<i>Treatment name</i>	<i>Symbol</i>	<i>Treatment date</i>	<i>Description</i>
CONTROL	CTRL	1977	Control plot, no perturbations.
CONTROL, BARE 2 plots	CBAR	1977/78	Lichen removed.
LICHEN EXTRACT	LE	1978	Lichen removed, white polyethylene overlaid, aqueous lichen extract applied.
BARE, FERTILIZED, INSULATED	BF1	1978	Lichen removed, white polyethylene overlaid, fertilized with 112 kg P/ha.
BARE, FERTILIZED, No. 1	BF1	1978	Lichen removed, fertilized with 112 kg P/ha.
BARE, FERTILIZED, No. 2	BF2	1978	Lichen removed, fertilized with 112 kg P/ha and 168 kg N/ha.
LICHEN, FERTILIZED, NO. 1	LF1	1978	Fertilized with 112 kg P/ha.
LICHEN, FERTILIZED, NO. 2	LF2	1978	Fertilized with 112 kg P/ha and 168 kg N/ha.
LICHEN, FERTILIZED, NO. 3	LF3	1978	Fertilized with 168 kg N/ha.
CLEAR POLYETHYLENE, 4 plots	EXPT	1977	Clear polyethylene overlaid.
CLEAR POLYETHYLENE, FERTILIZED, 2 plots	EXPH	1977	Clear polyethelene overlaid, fertilized with 112 kg P/ha.

† Treatments became effective (i.e. plots cleared by, or fertilizer applied by) at the end of the summer indicated.

is to set the mean control response to zero and allow rapid comparison of the mean treatment responses. *t*-tests between the mean control response and each mean treatment response were then made to determine statistically significant differences.

The treatment plots were established to vary four ways by which the lichen mat could influence tree growth: 1) alteration of soil temperature and 2) soil moisture, 3) interference with nutrient cycling, and 4) production of allelopathic chemicals. Because selective control of each of these variables in a field experiment is not feasible, different treatments and combinations of treatments were set up to modify the four variables in varying amounts.

To observe the net effect of lichen mat presence, two plots were cleared of all lichen. To study the effect of soil temperature alteration by the lichen, four areas were chosen to be covered with clear polyethylene to increase soil temperatures and thus provide a comparison with the cooler soil temperatures of the control area. The size of the polyethylene limited the plot sizes to about 180 m<sup>2</sup>; plots which contained the densest abundance of individual boles without candelabra spruce (Hustich, 1951) in the small area were chosen. Though perforated throughout, the polyethylene also affected soil moisture and provided a manipulation of that variable. Lichen mat interference with movement of nutrients through the mat to the soil was examined by applying solid fertilizers to the top of the mat. Three sites for fertilization were chosen and fertilized with 168 kg N/ha (urea) and 112 kg P/ha (superphosphate) in a factorial arrangement. To examine the eventual effect of raised soil temperatures causing increased soil metabolism and possibly higher soil nutrient levels, two plots were covered with clear polyethylene and fertilized with 112 kg P/ha. One comparison for lichen mat interference with the fertilization was provided by clearing two plots of all ground lichen and then adding 112 kg P/ha to one, and 112 kg P/ha and 168 kg N/ha to the other.

Lichen allelopathy is most probably a composite effect of several lichen acids (Arsenault, 1979). To examine their effect, a plot was established for application of an aqueous solution of these acids. The surface lichen from one plot was removed and placed in three inert barrels and eluted daily with water from a nearby stream. Water was pumped into the barrels and allowed to

stand with the lichen for 24 hours; afterwards, it was drained through dispersal hoses onto the plot. Enough of this aqueous extract was applied to approximately equal the 20 year average annual rainfall for a similarly sized area in the Schefferville region. White, perforated polyethylene was laid over the plot to maintain soil temperatures closer to control plot conditions. The undisturbed control plot and bared plots provided one comparison for the lichen extract plot. Because the lichen can contain higher concentrations of nutrients in its mass of decomposing thalli (Moore, 1980) and thus, the extract solution could contain appreciable nutrient concentrations, another comparison plot was constructed. After removing the lichen, 112 kg P/ha was broadcast on the area and the plot then overlaid with white, perforated polyethylene.

## Results

Both black and white [*Picea glauca* (Moench) Voss] spruce seedlings were included in the seedling census; the youngest seedlings observed were about 3 years old and the oldest about 40 years old. A previous study (Werren, 1979) conducted nearby, provided surface area estimates of the two most abundant habitat types (Table II), moss hummock and uncontested lichen middle, which accounted for 92% of the surface area in the plot. To approximate the area of each of the other habitats, the remaining 8% of surface area was divided equally among them. The greatest percentage of seedlings, 32%, occurred in polygonal fractures with moss covering the soil surface between polygons; the approximate seedling density was 1.51 seedlings/m<sup>2</sup>. Ground bared by the uplifted roots of blown down trees was the next densest habitat at 1.19 seedlings/m<sup>2</sup>, or 25% of all observed seedlings. Moss hummocks had 0.50 seedlings/m<sup>2</sup> and four of the remaining habitats were populated with between 0.28 and 0.14 seedlings/m<sup>2</sup>. No seedlings were observed growing in the center of a lichen polygon. Bare, uninhabited soil surface had 4% of the observed seedlings, or 0.19 seedlings/m<sup>2</sup>. In addition, no seedlings established on any of the lichen bared treatment plots (total surface area about 800 m<sup>2</sup>) after three years of exposure.

Results of the mature tree response are contained in Table III. Percent change in growth rate from the previous year for branch elongation and diameter increase are

TABLE II  
Seedling census results †

<i>Habitat type</i>	<i>No. of seedlings</i>		<i>Habitat area estimated (%)</i>	<i>Seedling density (seedlings / m<sup>2</sup>)</i>
	<i>No.</i>	<i>%</i>		
POLYGONAL FRACTURE moss present	122	32	1.3	1.51
POLYGONAL FRACTURE bare ground	11	3	1.3	0.14
MOSS HUMMOCK	93	25	3.0 <sup>a</sup>	0.50
BLOWDOWN	96	25	1.3	1.19
DECAYING BOLE	23	6	1.3	0.28
BARE GROUND	15	4	1.3	0.19
LICHEN MIDDLE contestable	19	5	1.3	0.23
LICHEN MIDDLE uncontestable	0	0	89.0 <sup>a</sup>	0.00

† An area of 6230 m<sup>2</sup> was examined to tally where successful seedling establishment occurred. Blowdowns are the barren patches left when a mature tree falls and its roots pull up surface vegetation with them. A decaying bole is the rotting trunk lying on the mat surface following a blowdown. Polygonal fractures are the cracks between lichen patches which appear after drying; occasionally, mosses are present in these small habitats. Lichen middle, contestable refers to seedlings which appear to have established in the mat middle, but mat and seedling ages are too close to determine which actually came first.

<sup>a</sup> Werren, 1979.

presented for the last year of observation, 1980, when responses were greatest.

Removing the lichen mat caused a significant negative change in growth rate for branch elongation compared to the control. Diameter change was also negative, but the sample variance was too high for a statistically significant result. Response to aqueous lichen extract was more pronounced in the branch elongation, but produced no significant decline in diameter change. Lichen removal with phosphate fertilization and a white polyethylene cover caused no significant differences from the control response.

Lichen bared woodland, when fertilized, showed a two phase response in branch elongation. After removing the lichen mat, both bare, fertilized plots showed relative decreases in growth rate followed by relative increases. For 1980, the phosphate fertilized, bare plot showed no significant difference from control response, though it had responded significantly poorer than the control plot for the two previous years. Nitrogen and phosphate fertilization caused a significant increase over the control plot. Neither manipulation, however, produced a significant change in diameter growth rate.

Direct fertilization of lichen covered surfaces with nitrogen and/or phosphorus pro-

duced significant increases in branch elongation. Only the nitrogen-phosphorus combination produced a significant increase in diameter growth rate.

Overlaying plots with clear polyethylene showed no difference from the control plot in branch elongation response, but did show a significant increase in diameter growth rate. Phosphorus fertilization before overlaying with clear polyethylene produced significant increased percent change in branch elongation in 1978 and 1979. Though absolute branch growth increased again in 1980, the percent change was significantly negative compared to the control plot. No significant changes to this manipulation were observed in the bole response.

## Discussion

That the lichen polygon centers are formidable barriers to successful seedling establishment is convincingly demonstrated in the seedling census results. Although 89% of the census area was covered by the lichen mat, no seedlings were observed to have established in the mat itself. The mat edges with mosses present, however, were shown to be preferred establishment sites. In an estimated 1.3% of the total area available, 32%

TABLE III  
Growth response in 1980<sup>†</sup>

Plot symbol	Branch elongation		Bole diameter	
	N	1980 percent change	N	1980 percent change
CTRL	222	NA	23	NA
CBAR	162	-15.6*	24	-209.6 <sup>a</sup>
LE	81	-53.0*	13	-52.4
BFI	81	-9.61	8	15.6
BF1	80	0.21 <sup>a</sup>	11	29.1
BF2	81	28.9*	16	97.8
LF1	81	9.39*	32	47.9
LF2	82	35.3*	19	62.8*
LF3	80	46.3*	15	101.4
EXPT	260	-5.18	28	34.3*
EXPH	161	-7.74* <sup>b</sup>	28	22.3

<sup>†</sup> Results from the bole diameter and branch elongation measurements for 1980 are presented in terms of percent change from the previous year. The number of branch tips or boles is listed as *N*. Refer to Table I for explanations of plot symbols and for the number of years of treatment.

NA not applicable.

<sup>a</sup> mean was significantly less than control mean in 1979.

<sup>b</sup> mean was significantly greater than control mean in 1978 and 1979.

\* *P* less than 0.05.

of all observed seedlings were established. Similar observations were made in Norway (Aakre, 1966) where seedlings of *Pinus sylvestris* were more abundant on the edges of lichen-harvested areas than on bare ground or in the lichen mat. Seedlings growing on coarse soils where lichens had been harvested grew more poorly than those on undisturbed sites. Aakre (1966) concluded that increased evaporative loss of soil moisture caused by removal of the lichen moisture barrier, hindered the seedling growth. In Québec, Linteau (1957) found that black spruce seedlings were more numerous around moss hummocks than on open, bare ground at the sides of a newly constructed highway. He similarly concluded that the moisture found at the edge of the moss mat provided an advantage to the seedlings. Gagnon (1966) has shown directly that the moisture holding capacity of the lichen *Lecidea granulosa* aids the germination of black spruce seed. The present study shows in addition, that lichen mat edges with no moss ground cover are much poorer establishment sites than those with moss. Thus, although the extensive area covered by polygon centers is not successfully invaded by the seedlings, the mat edges provide a favorable habitat.

Moss hummocks and blowdowns were two other desirable seedling sites, each containing 25% of the observed established seedlings. It has already been suggested that the moisture properties of the mosses may be beneficial to the seedlings. Blowdowns form a local depression in the soil surface when the base of the tree is dislodged. The perpendicular positioning of the tree base and attached roots apparently ameliorate conditions compared to other uninhabited soil surfaces for establishment is greater (1.19 seedlings/m<sup>2</sup> vs 0.28 seedlings/m<sup>2</sup>).

Discernable differences among the growth responses in the mature trees were almost totally restricted to branch elongation. Large variation in diameter growth response prevented all but two of the 1980 treatment results from showing significant deviation from the control, despite large mean differences. Diameter growth percent change did tend to show increase or decrease in accordance with branch elongation percent change. Fertilization with nitrogen and phosphorus and clear polyethylene overlays (which raised soil temperatures and decreased soil moisture) caused significant positive changes in growth from the previous



year. Diameter response to both fertilizers was consistent with branch elongation responses, but diameter response to plastic overlays was not. While branch elongation in the clear polyethylene manipulations consistently mimicked control growth through all years of the experiment, diameter growth showed significant positive change. Additional data (currently being analyzed) should help explain this observation.

Branch elongation among the different treatments showed significant deviations more frequently. Removing the lichen mat caused a steady relative decline in branch growth over the four experimental years. Site monitoring showed that lichen removal caused soil temperatures in the upper 5 cm to increase and soil moisture to decrease. Total phosphorus analysis of the lichen extract used for the allelopathic treatment showed high concentrations of eluted phosphorus. Moore (1980) has also demonstrated that nutrient concentrations of the decomposing thalli are much higher than the underlying soil. Spruce roots generally occupy the region of decomposing matter under the lichen mat and top 5 cm of soil (Vincent, 1965). Thus, despite the warmer soil temperatures of lichen removal, it is possible that the loss of moisture and nutrients in the lichen mat caused growth to decrease.

Soil temperature and moisture in the lichen extract treatment plot were comparable with the control plot conditions and, even though some nutrients were added to the soil via the lichen elution, relative branch growth decreased markedly. Lichen acids which may be responsible for allelopathic effects (Arsenault, 1979) are only slightly soluble in water (Culberson, 1969). The metabolically active portions of old lichen are the top two-thirds of the thallus (Karenlampi, 1971), suspended above the moisture barrier of the decomposing layers (Wright, 1980). Passage of the allelopaths from production sites to root zones is therefore, hindered by low aqueous solubility and the lichen ferment and humus. Agitation and repeated elution on the lichen extract plot could have increased the amount of different allelopaths in close proximity to the tree roots and mycorrhizae. The results observed here might suggest that normal root zone concentrations of allelopathic compounds are not sufficient to entirely counteract the benefits afforded by lichen mat ground cover. Response of the bare, P fertilized and insulated plot tends to confirm this: phospho-

rus, added to compensate for removal of lichen mat held nutrients, and insulation to maintain cooler soil temperatures caused no significant difference from control response despite the removal of allelopathic production (Table III).

Fertilizer response was greater in all cases when the lichen mat was present. These treatments also suggest that the moisture holding capabilities of the mat are beneficial to the tree growth, possibly more so than the raised soil temperature caused by lichen removal.

Clear polyethylene overlaid plots and bared plots had warmer soil temperatures than the control and lichen underneath the plastic became quite dry. Branch growth on the polyethylene plots showed no difference from control plot response and was significantly greater than branch growth on bared plots. Fertilizer underneath the plastic improved response significantly in the first two years of treatment, but not the third year. Moisture conditions may have been responsible for the decline.

It is necessary to point out that all treatments (except perhaps the lichen extract plot) where the lichen mat was removed, may have caused a basic reordering of photosynthate allocation priorities to the roots to compensate for less favorable root zone conditions. In this case, a distinction between short term and long term response becomes necessary. Only short term response has been documented in this study; long term response would include the repair of possible root damage caused by the deterioration of root zone conditions and subsequent re-expansion of root tips.

### Conclusion

In observing the effects of lichen ground cover on the growth of black spruce, branch elongation was a more accessible and responsive quantity to measure than bole diameter growth. It does appear that lichen allelopathy is a real phenomenon in lichen woodlands, but certainly not a dominating factor among the lichen mat effects. Indeed, tree growth was significantly better in the presence of the lichen mat than in its absence.

Seedling establishment is prevented from occurring in lichen polygon centers but is successful at the polygon edges. Contrasted with the poor establishment observed on

bared surfaces, this demonstrates that lichen mats, by providing favorable microhabitats at the polygon edges, can provide habitats more conducive to successful seedling establishment than expanses of bare ground.

Thus the lichen-dominated ground surfaces still have microhabitats which allow tree regeneration from seed. In addition, the lichen mat serves to aid tree growth. Where soil moisture retention and nutrients are marginally sufficient to deficient for spruce growth, the lichen mat enhances tree productivity.

### Acknowledgments

This work was supported by the Direction générale des études supérieures, ministère de l'Éducation du Québec, NSERC, and the McGill University Center for Northern Studies. T.R. Moore provided helpful comments about the manuscript. Facilities of the McGill Subarctic Research Station at Schefferville, Québec aided the research greatly.

### References

- AAKRE, A., 1966. Lavsanking i Nord-Osterdal. Spesielt dens betydning for naturlig foryngelse av furu. — Meld. Norg. LandbrHøisk., 45: 1-34.
- AHTI, T., 1959. Studies on the caribou lichen stands of Newfoundland. — Suomal. eläin-ja kasvit. Seur. van. kasvit. Julk., Vol. 30, 44 p.
- ALLEN, A.E., 1929. Influence of *Cladonia* ground cover on the establishment of seedlings. — Ecology, 10: 354-355.
- ARSENAULT, P., 1979. Effets allélopathiques causés par des lichens fruticuleux terricoles sur *Picea mariana*. — Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 215 p.
- BLACKMAN, V.H., 1919. The compound interest law and plant growth. — Ann. Bot., 33: 353-360.
- BROWN, R.T. & P. MIKOLA, 1974. The influence of fruticose soil lichens upon the mycorrhizae and seedling growth of forest trees. — Acta for. fenn., Vol. 141, 22 p.
- CULBERSON, C.E., 1969. Chemical and botanical guide to lichen products. — University of North Carolina Press, Chapel Hill, 628 p.
- DAURIAC, H. & Y. RONDON, 1976. Quelques aspects des propriétés d'un lichen, le *Letharia vulpina* (L.) Hue, en biologie végétale expérimentale. I. Action sur la germination du blé et le développement de l'ail. — Bull. Soc. bot. Fr., 123: 235-241.
- FISHER, R.F., 1979. Possible allelopathic effects of reindeer-moss (*Cladonia*) on jack pine and white spruce. — For. Sci., 25: 256-260.
- FRASER, E.M., 1956. The lichen woodlands of the Knob Lake area of Québec-Labrador. — McGill Subarctic Research Paper, no. 1., 28 p.
- FRASER, J.W., 1976. Viability of black spruce seed in or on a boreal forest seedbed. — For. Chron., 52: 229-231.
- FRITTS, H.C., 1976. Tree rings and climate. — Academic Press, New York, 567 p.
- GAGNON, J.D., 1966. Le lichen *Lecidea granulosa* constitue un milieu favorable à la germination de l'épinette noire. — Naturaliste can., 93: 89-98.
- HUSTICH, I., 1951. The lichen woodlands in Labrador and their importance as winter pastures for domesticated reindeer. — Acta geogr. Helsingf., 12(1), 48 p.
- JEGLUM, J.K., 1974. Relative influence of moisture-aeration and nutrients on vegetation and black spruce growth in northern Ontario. — Can. J. For. Res., 4: 114-126.
- JOHNSON, E.A., 1975. Buried seed populations in the subarctic forest east of Great Slave Lake, Northwest Territories. — Can. J. Bot., 53: 2933-2941.
- KARENLAMPI, L., 1971. On methods for measuring and calculating the energy flow through lichens. — Rep. Kevo Subarctic Res. Stn., 7: 40-46.
- KERSHAW, K.A., 1977. Studies on lichen-dominated systems. XX. An examination of some aspects of the northern boreal lichen woodlands in Canada. — Can. J. Bot., 55: 393-410.
- KERSHAW, K.A., 1978. The role of lichens in boreal tundra transition areas. — Bryologist, 81: 294-306.
- KERSHAW, K.A. & W.R. ROUSE, 1971. Studies on lichen-dominated systems. I. The water relations of *Cladonia alpestris* in spruce-lichen woodland in northern Ontario. — Can. J. Bot., 49: 1389-1399.
- KERSHAW, K.A. & W.R. ROUSE, 1976. The impact of fire on forest and tundra ecosystems. — INA Pub., no QC-8117-000-EE-A1, 54 p.
- KIDD, F., C. WEST & G.E. BRIGGS, 1920. What is the significance of the efficiency index of plant growth? — New Phytol., 19: 88-96.
- LARSEN, J.A., 1980. The boreal ecosystem. — Academic Press, New York, 500 p.
- LAWREY, J.D., 1977. Inhibition of moss spore germination by acetone extracts of terricolous *Cladonia* species. — Bull. Torrey bot. Club, 104: 49-52.
- LINTEAU, A., 1957. Black spruce reproduction on disturbed soil conditions. — For. Res. Division, Department of Northern Affairs and National Resources, Technical Note, no. 54, 14 p.
- LUCAROTTI, C.J., 1976. Post-fire change in mycoflora species and mesofauna populations in lichen woodland soils, Schefferville, Québec. — M.Sc. thesis, McGill Univ., Montréal, 80 p.

- MOORE, T.R., 1980. The nutrient status of subarctic woodland soils. — *Arct. Alp. Res.*, 12: 147-160.
- NICHOLSON, F.H., 1976. Permafrost thermal amelioration tests near Schefferville, Québec. — *Can. J. Earth Sci.*, 13: 1694-1705.
- PUCKETT, K. & E.J. FINEGAN, 1980. An analysis of the element content of lichens from the Northwest Territories, Canada. — *Can. J. Bot.*, 58: 2073-2089.
- ROUSE, W.R., 1976. Microclimate change accompanying burning in subarctic lichen woodland. — *Arct. Alp. Res.*, 8: 357-376.
- ROWE, J.S., 1972. Forest regions of Canada. — *Can. For. Ser.*, Ottawa., 172 p.
- ROWE, J.S. & G.W. SCOTTER, 1973. Fire in the boreal forest. — *J. Quat. Res.*, 3: 444-464.
- SAVILE, D.B.O., 1963. Factors limiting the advance of spruce at Great Whale River, Québec. — *Can. Fld Nat.*, 77: 95-97.
- SIMARD, A., 1975. Wildland fire occurrence in Canada. — Environment Canada, Forestry Service, Ottawa, map.
- STRANG, R.M., 1973. Succession in unburned subarctic lichen woodlands. — *Can. J. For. Res.*, 3: 140-143.
- TUOMINEN, Y. & T. JAAKKOLA, 1973. Absorption and accumulation of mineral elements and radioactive nucleides. — Ch. 6 in V. Ahmadjian & M.E. Hale (eds.), *The lichens*. Academic Press, New York, 697 p.
- VIERECK, L.A., 1973. Wildfire in the taiga of Alaska. — *J. Quat. Res.*, 3: 465-495.
- VINCENT, A.B., 1965. Black spruce. A review of its sylvics, ecology and silviculture. — *Dept. of For., Ottawa, Publ. no. 110*, 79 p.
- VOWINCKEL, T., 1975. The effect of climate on the photosynthesis of *Picea mariana* at the subarctic tree line. — Ph.D. thesis, McGill Univ. Montréal, 147 p.
- WERREN, G.L., 1979. Winter stress in subarctic spruce associations: a Schefferville case study. — M.Sc. thesis, McGill Univ., Montréal, 257 p.
- WRIGHT, R.K., 1980. The water balance of a lichen tundra. — Ph.D. thesis, McGill Univ., Montréal, 214 p.



## TUNDRA COMMUNITIES ALONG A MICROENVIRONMENTAL GRADIENT AT CORAL HARBOUR, SOUTHAMPTON ISLAND, N.W.T.

S. A. REZNICEK<sup>1</sup> and J. SVOBODA

Erindale College, Department of Botany,  
University of Toronto, Mississauga, Ontario L5L 1C6

### Résumé

On a étudié le micro-environnement et les différences dans la composition floristique de cinq communautés végétales typiques de l'Arctique, près de Coral Harbour. Les communautés furent choisies selon un gradient croissant d'humidité et d'élévation: une prairie à carex dans le lit d'un ruisseau, une prairie à carex mésique un peu plus élevée, un affleurement rocheux, une combe à neige située à la base d'un affleurement rocheux et une crête de plage graveleuse surélevée. Cette dernière communauté était la plus sèche et la plus élevée.

Les paramètres étudiés sont la température, l'exposition aux vents dominants, l'humidité relative de l'air, la fonte des neiges, l'épaisseur de la couche active, l'humidité, la composition et le type de sol, le couvert végétal, la biomasse, la production et les changements phénologiques.

Il est évident que la structure et la composition de la communauté sont le produit de plusieurs facteurs environnementaux. Cependant, on a pu corréler quelques paramètres, telles la biomasse et la production en fonction de la profondeur de la neige; cette dernière protège certaines espèces sensibles tel *Cassiope tetragona*. La fonte de la neige est une condition importante pour le déclenchement du processus de floraison.

Une relation de réciprocité existe entre la vitesse du vent, le couvert végétal et la biomasse aérienne. On n'a trouvé aucune corrélation entre la longueur de la saison de croissance d'une part et la production et la biomasse. Ces dernières sont influencées par les types dominants de la communauté (carex ou espèces en cousin) qui sont dépendants eux-mêmes des conditions de l'habitat. Dans des conditions équivalentes d'humidité, les différences dans la composition et la structure de la végétation sont dépendantes du couvert nival, de l'orientation de la pente et des vents.

### Abstract

Five plant communities near Coral Harbour were studied in terms of their microenvironment and vegetation differences. The communities were chosen to represent a spectrum of diversity in environmental conditions comparable to elsewhere in the Arctic. The communities examined were: a wet sedge meadow in a stream bed, a mesic sedge meadow at a slightly higher elevation, a rock outcrop, a snow bed which developed at the base of the rock outcrop, and a raised gravel beach ridge which was the highest and driest site. The communities were oriented along an obvious moisture gradient.

Temperature, wind exposure, relative humidity, snow melt, active layer depth, soil moisture, mineral composition and soil structure were measured. Plant cover, standing crop, production and phenological changes were also measured in each community.

It was apparent that the composition, structure, and stature of the community resulted from the subtle interplay of a myriad of environmental factors. However, single vegetational parameters such as standing crop and production were strongly

<sup>1</sup> Present address: 890 Wickfield Court, Ann Arbor, Michigan 48105, U.S.A.

and positively correlated with increased soil moisture. Snow cover and wind velocity affected plant cover and species diversity. With the exception of the late snow bed, plant cover and diversity increased with snow depth which was also important in providing winter protection for sensitive species such as *Cassiope tetragona*. Snow melt timing was critical to flower initiation.

An essentially reciprocal relationship existed between wind speed, cover and above ground standing crop. There was no correlation found between seasonal degree-days (or length of the growing season) and plant production and biomass. These were influenced by the types of community dominants (e.g. sedges vs. cushion species) which in turn were typical representatives of particular habitat conditions. In communities where moisture conditions were equivalent, structural and quantitative differences in vegetation were attributable to snow cover, slope orientation and wind.

### Introduction

The relationship between arctic plant communities and their environment has been a topic of major concern to ecologists for many years. Bliss (1956) postulated that the mosaic of arctic plant communities was a result of the interactions of numerous environmental factors, such as topography, soil type, nutrient availability, microclimate and biotic interactions. These factors are interdependent. For example, the grade and aspect of a slope would affect radiation input, diurnal photoperiod, temperature, drainage, moisture and wind. The existence, structure and performance of a plant community in a particular site thus reflect and integrate fine differences in some micro-environmental conditions. Some authors, on the other hand, emphasized a single environmental factor as an agent strongly influencing arctic plant growth and response. In this regard, they have focused their effort on various aspects of the arctic environment such as soils, temperature, moisture, winds etc. (Sorenson, 1941; Warren-Wilson, 1957; Caldwell, 1970; Billings *et al.*, 1973; Gerasimenko & Zelenskiy, 1973; Chapin, 1974; Haag, 1974; Damman, 1976). However, relatively few studies of the interrelationships between microenvironment, as a whole, and vegetation have been conducted in the Arctic.

In designing this study, we hoped that a thorough analysis of discernable plant communities and their microenvironmental conditions existing in a localized area in the Arctic might eliminate the problems encountered when comparing vegetation units in distant geographical locations. To be able to interpret properly the nature, structure and performance of existing plant assemblages, simultaneous monitoring of key environmental factors, in a series of adjacent plant communities was needed in order to

generate suitable comparative data. This became an objective of this work. We have attempted to identify a significant factor or a combination of factors that might condition the (*in situ*) presence of a specific plant community type or influence its particular behaviour. Such an analysis might prove to have a predictive value since the presence of certain types of tundra communities could be postulated from known environmental characteristics and vice versa.

### Regional and study site characteristics

Southampton Island lies 1 to 3° south of the arctic circle but its climate and vegetation can be considered fairly High Arctic [see ecological map of the High Arctic in Bliss (1977)]. Series of heavy glaciations (Southampton Island is situated near the Keewatin glaciation epicenter) smoothed the topography of the island and contributed to its mixed surficial geology. The island's eastern (minor) part shows an exposed Canadian Shield while its west is comprised of reworked glacial drift mixed or overlain by uplifted marine sediments.

The selected study site was located near Coral Harbour, Southampton Island, N.W.T. (64°12'N, 83°22'W). It was appreciated that some ecological and floristic work had been done previously in the area (Sutton, 1936; Cody, 1951; Parker, 1975) and that the area has a permanent weather station from which local and regional climatic data could be obtained.

### Materials and methods

The study was conducted during two summers of 1975 (early July to mid-August) and 1976 (from mid-May until the plants entered dormancy in late August).

Measurement of environmental factors that were considered to be significant in each community included: snow depth and time of snow disappearance (followed on established markers), development of active layer (permafrost probe and thermocouples), total incoming radiation (mechanical actinograph), soil-air temperature profile at 15, 5, surface, -5, -10, -15 cm (thermocouple and Wescor microvoltmeter) and mean ground surface temperatures (Pallman Sucrose Inversion Technique), near the ground relative humidity (aspirated psychrometer), and wind speed (digital cumulative cup anemometer and hand-held unidirectional anemometer), soil moisture (per weight and volume), soil moisture retaining capacity (Hilgard cups), soil organic matter (Loss-on-ignition) and soil mineral element analyses (by standard methods at the University of Guelph, Soil Science Laboratories).

Botanical investigations included measurements of community composition (list of vascular species, bryophytes and lichens; species collections are deposited in the Herbarium, Erindale College, University of Toronto); frequency and cover data (by using 50 × 50 cm random quadrats;  $n = 10$  in wet sedge meadow,  $n = 15$  in snow bed community;  $n = 25$  in mesic sedge meadow and rock outcrop;  $n = 35$  in raised beach ridge); standing crop (by clipping above ground and extracting below ground biomass,  $n = 10$  in wet sedge meadow,  $n = 15$  in mesic sedge meadow, rock outcrops and snow bed communities and  $n = 20$  in raised beach ridge). Production estimates were based on direct measurements of

green crop seasonal increments augmented by a factor for brown shoot and root / rhizome increments after Bliss & Svoboda (pers. comm.). Detailed phenology was observed on labelled individuals in each community. For a detailed description of the Pallmann Sucrose Inversion Technique used in determination of mean temperature, see Reznicek (1979).

## Results

Parker (1975) identified thirteen plant community types on Southampton Island, five of which were studied near Coral Harbour and described in this study. These five communities occupied a transect along a southwest-oriented slope from about 30 to 70 m above sea level. The series included a wet sedge meadow in the vicinity of a meandering rivulet (the lowest site), a mesic sedge meadow (slope proper), a snow bed community (wind protected belt along the cliffs), rock outcrop community and a raised beach ridge community (at the top of the topographical gradient) (Fig. 1). Micro-environmental data for the five plant communities are summarized in Table I. Their respective vegetation analyses are presented in Table II. Complete species lists for the communities can be found in Reznicek (1979).

The *wet sedge meadow* was located in the depression along a stream and was dominated by a continuous sward of the rhizomatous sedges *Carex stans* and *C. membranacea* and a willow, *Salix lanata*. Presence of these species with *Juncus castaneus*, *J.*

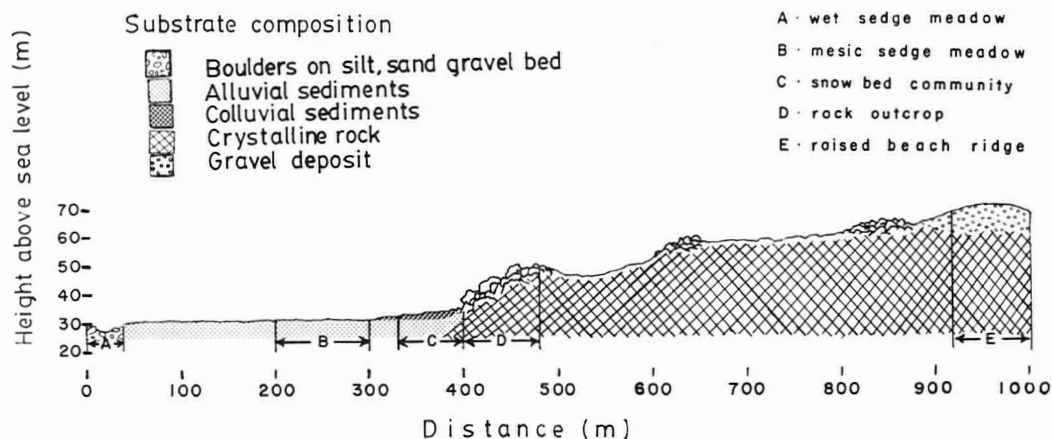


Figure 1. Topographic gradient of the studied area near Coral Harbour, N.W.T. Vertical exaggeration 3x.

TABLE I  
Microenvironmental analyses for five plant communities studied near Coral Harbour, N.W.T., 1976

	Wet sedge meadow	Mesic sedge meadow	Snow bed community				Rock outcrop	Raised beach ridge
			Early		Late			
			Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4		
Maximum winter snow depth (cm) April 7, 1976	62	40	100+	100+	100+	100+	90	2
Date of snow disappearance 1976	June 25	June 18	June 30**	July 15**	July 27**	Aug. 10**	June 30	June 5
Maximum active layer depth 1976 (cm, $n = 10$ )	<sup>1</sup> 51.1	<sup>2</sup> 31.9	<sup>4</sup> 29.0	<sup>4</sup> 22.4	<sup>4</sup> 14.7	<sup>4</sup> 3.5	<sup>3</sup> 28.4	<sup>3</sup> 47.5
Soil moisture (%, $n = 12$ )	69.3 ± 8.5	44.3 ± 5.5	high	high	high	high	43.3 ± 7.9	3.4 ± 7.9
Moisture retaining capacity (%, $n = 12$ )	212.7 ± 4.7	41.2 ± 3.5	N/A	N/A	N/A	N/A	460.8 ± 24.0	41.3 ± 3.3
Length of potential growing season (days)	75	80	63	47	33	18	75	90
Degree-days above freezing (°C)	542.5	863.1	689.0	504.0	N/A	N/A	718.2	811.2
Average wind speed ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ , $n = 75$ )	7.5 ± 2.6	9.1 ± 2.9	N/A	<sup>a</sup> 8.2 ± 3.2	N/A	N/A	4.6 ± 2.6	9.8 ± 4.3
Relative humidity (%, $n = 15$ )	73.6 ± 15.6	67.4 ± 16.7	N/A	<sup>b</sup> 69.5 ± 17.0	N/A	N/A	65.0 ± 17.3	64.2 ± 1.8
Surface litter ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ , $n = 15$ ), July 28, 1976.	3.0 ± 1.5	5.3 ± 3.1	7.1 ± 1.7	8.1 ± 1.3	N/A	N/A	10.6 ± 5.6	0.05 ± 0.2



Organic matter (horizon A, %, $n = 4$ )	24.4 ± 1.7	13.3 ± 1.0	31.5 ± 1.8	8.9 ± 0.5	6.1 ± 0.5	2.8 ± 0.2	58.0 ± 2.5	17.4 ± 4.6
Organic carbon (C) (horizon A, %, $n = 4$ )	14.2 ± 1.0	7.7 ± 0.6	18.3 ± 1.0	5.2 ± 0.3	3.5 ± 0.3	1.6 ± 0.1	33.6 ± 1.5	10.1 ± 2.6
Total nitrogen (N) (%, $n = 1$ ) (horizon A)	0.66	0.47	1.11	0.24	0.19	0.12	0.36	0.63
C/N ratio	22:1	16:1	16:1	22:1	18:1	13:1	93:1	16:1
Phosphorus (P) (horizon A, ppm)	4	9.5	13	12	7	7.7	7.5	8
Potassium (K) (horizon A, ppm)	26	30	70	70	40	60	48	78
Magnesium (Mg) (horizon A, ppm)	70.5	69	139.5	92.5	79.5	73.5	200+	101.5
Calcium (Ca) (horizon A, ppm)	4500	3600	4000	1050	1750	2725	5200	6400
pH (rehydrated soil)	7.4	7.0	6.6	6.6	6.0	7.4	6.0	7.5

<sup>a</sup> $n = 50$    <sup>b</sup> $n = 10$    N/A = information not available.   <sup>1</sup>July 28   <sup>2</sup>July 7   <sup>3</sup>July 20   <sup>4</sup>August 14  
 \* Where applicable all values ± standard deviation.  
 \*\* In the middle of the zone.

*triglumis*, *Eriophorum angustifolium*, *E. callitrix*, *Saxifraga hirculus* and *Pedicularis sudetica* indicated that the meadow was wet throughout the growing season (average soil moisture  $69.3 \pm 8.5\%$ ). There were 25 vascular species found in this community which was underlain by alluvial sediments. The soil was a mixture of gravel, silt, and clay bound tightly by the roots and rhizomes of sedges and can be compared with the gleysolic static cryosol of Walker & Peters (1977). The true tundra soil of the wet sedge meadow had a relatively high organic matter content ( $24.4 \pm 1.7\%$ ) due mostly to the large below ground biomass ( $5,511 \pm 998 \text{ g} \cdot \text{m}^2$ ). The high organic content contributed also to the high moisture retaining capacity ( $212 \pm 4.7\%$ ) of the soil. The wet sedge meadow soil was lowest in several soil nutrients (P, K, Mg). It was the coldest community with only 542.5 degree-days accumulated in the 75-day potential growing season. Snow cover in the wet sedge meadow was moderate (62 cm maximum) and the disappearance of the snow in spring was greatly accelerated by incoming melt water from surrounding slopes. The continued flow of groundwater through the meadow contributed to the deep active layer (51.1 cm on July 28, 1976).

The *mesic sedge meadow* occurred on a gently sloping (ca.  $5^\circ$ ) and undulating plain. The meadow formed a discontinuous (150-300 m) band that ran parallel to the snow bed and rock outcrop communities (Fig. 1) for about 3 km and was dominated by the caespitose sedges *Kobresia myosuroides*, *Carex misandra* and the cushion forming *Dryas integrifolia*. Thirty-six vascular species were found in the community. The moist ( $44.3 \pm 5.5\%$ ) but well-drained soil was closest to the brunisolic static cryosol (= arctic brown soil) of Walkers & Peters (1977). The soil was kept at its moisture retaining capacity ( $41.2 \pm 3.5\%$ ) for most of the season by a continual flow of melt water from a snow bed on the slope above. The organic matter content ( $13.3 \pm 1.0\%$ ) was comparatively low. The accumulated degree-days were highest in this site (863.1 degree-days). The growing season was relatively long (80 days) and the favourable southwest exposure contributed to the high accumulation of degree-days.

The *snow bed community* at the base of the rock outcrop was exceptional in many ways. Its special characteristics were directly related to the presence of a persistent deep

snow cover which, during the summer of 1976, only partially melted. Local residents indicated that this was usual. Only during exceptionally warm years, such as 1975, will snow eventually disappear. Four discernable zones of vegetation were visible by the end of the season. These zones differed in species composition, structure and plant stature as well as in their degree of soil development. The potential growing season was directly related to the time of snow disappearance. However, the actual plant growth was strongly influenced by the nearness of the cold snow mass producing cold melt water. In 1976, the plants in the third and fourth last zones to be exposed never fully greened their leaves. The four identified zones of the late snow bed were: (1) a zone transitional and adjacent to the mesic sedge meadow, about 23 m wide, completely snow-free from July 16 (1976). This zone was marked by a decrease in sedges and *Dryas* and by the first scattered appearance of *Cassiope tetragona*; (2) a zone approximately 8 m wide completely snowfree from July 23 and dominated by a lush cover of *C. tetragona*; (3) a zone about 9 m wide completely snowfree from August 4 with a more depauperate cover (*C. tetragona* only scattered); and (4) a 6.5 m wide zone only partially exposed from August 4 almost barren with sporadic tiny plants of *Salix arctica* and a few small clumps of sedges. The soil ranged from a weakly developed brunisolic static cryosol to an inorganic colluvial sand-gravel regosol near the base of the rock outcrop.

The southwest facing *rock outcrop* cliffs were composed mostly of gneiss with some granite, rose 20 m above the snow bed community. Organic soil accumulated in pockets between the rocks. The vegetation growing in these protected sites was lush and floristically most diverse (58 vascular species) dominated by heath species (especially *Cassiope tetragona* and *Vaccinium uliginosum*), cushion plants such as *Dryas integrifolia* and moss. The deep snow drifts which covered the rock outcrop in early spring were mostly gone by mid-June. In 1976, 718.2 degree-days accumulated over the 75-day potential growing season here. The rock outcrop heated up significantly during the day, but before sunset the slope was in shadow and cooled quickly. This community showed the greatest oscillation in diurnal temperatures. Wind speed ( $4.6 \pm 2.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) was very low here. Peat

TABLE II

Vegetation analyses for five plant communities studied near Coral Harbour, N.W.T.\*

	Wet sedge meadow	Mesic sedge meadow	Snow bed				Rock outcrop	Raised beach ridge
			Early		Late			
			Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4		
Number of vasc. species	25	36	28	12	21	15	58	14
Dominant vascular species	<i>Carex stans</i> <i>C. membranacea</i> <i>Salix lanata</i>	<i>Kobresia myosuroides</i> <i>Dryas integrifolia</i> <i>Carex misandra</i>	<i>Dryas integrifolia</i> <i>Cassiope tetragona</i> <i>Carex misandra</i> <i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Cassiope tetragona</i> <i>Dryas integrifolia</i>	<i>Cassiope tetragona</i> <i>Dryas integrifolia</i> <i>Dryas integrifolia</i> <i>Salix arctica</i>	<i>Salix arctica</i> <i>Dryas integrifolia</i> <i>Saxifraga oppositifolia</i> <i>Carex misandra</i>	<i>Cassiope tetragona</i> <i>Dryas integrifolia</i> <i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Dryas integrifolia</i> <i>Saxifraga oppositifolia</i>
Above ground biomass (g·m <sup>-2</sup> )	490.0 ± 82.1	863.2 ± 344.4	1612.3 ± 308.5	2117.4 ± 473.3	N/A	N/A	1342.7 ± 508.5	198.3 ± 347.5
Below ground biomass (g·m <sup>-2</sup> )	5511.6 ± 998.3	2185.7 ± 1474.1	2203.4 ± 988.1	1590.5 ± 795.8	N/A	N/A	2431.6 ± 1555.0	38.1 ± 64.8
Total biomass (g·m <sup>-2</sup> )	6001.6 ± 973.7	3048.9 ± 1418.0	3815.6 ± 1143.1	3707.9 ± 902.6	N/A	N/A	3774.3 ± 2441.5	236.5 ± 408.8
Total plant cover (%)	72.9 ± 11.9	68.3 ± 21.4	65.0 ± 21.9	93.3 ± 7.2	40.2 ± 12.5	13.9 ± 6.1	79.6 ± 16.7	15.7 ± 18.4
Total seasonal production (g·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	152.4 ± 87.1	86.2 ± 51.8	43.8**	74.8**	N/A	N/A	95.6 ± 69.9	28.6 ± 33.4

\* Where applicable all values ± standard deviation: biomass + production data:  $n = 10$  for wet sedge meadow,  $n = 15$  for mesic sedge meadow, rock outcrop and snow bed community, and  $n = 20$  for raised beach ridge.

\*\*Greater value than given since moss production not estimated.

cover data:  $n = 10$  for wet sedge meadow,  $n = 15$  for snow bed community,  $n = 25$  for mesic sedge meadow and rock outcrop, and  $n = 35$  for raised beach ridge.

N/A = data not available

which accumulated in the pockets between the protective jutting rocks had extremely high moisture retaining capacity ( $460.8 \pm 24.0\%$ ). It was water-saturated after snow melt and maintained mesic conditions ( $43.4 \pm 7.9\%$ ) for most of the growing season. Plant cover ( $79.6 \pm 16.7\%$ ) was confined to hollows and crevices between the rocks.

The crescent shaped *raised beach ridge* (about 500 m long and 30 to 70 m wide) was the highest topographical feature in the surrounding area. It was formed some 2,400-3,500 years ago and is still being uplifted (Andrews, 1970). The calcareous coarse substrate was well-drained and can be compared with the regosolic static cryosol of Walker & Peters (1977). However, around and under plant clumps brunisolic static cryosol (arctic brown) soil was beginning to develop. Since at this highly exposed site there was little snow to be melted, the growing season (90 days) began earliest here, and a high total of 811.8 degree-days could accumulate. As well as being highest in altitude and most wind swept (the average wind speed was  $9.8 \pm 4.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), the raised beach ridge was also the driest ( $3.4 \pm 1.6\%$  soil moisture). This habitat supported a depauperate community with only fourteen vascular species. The sparse vegetation ( $15.7 \pm 18.4\%$  cover) formed discontinuous patches dominated by *Dryas integrifolia* and *Saxifraga oppositifolia*. Total standing crop and production for the community were lowest here (Table II).

### Discussion

Three specific environmental factors had a pronounced effect on the vegetation: snow depth and duration, soil moisture, and wind speed.

*Snow cover* varied from 2 cm sparsely distributed on the raised beach ridge to more than 100 cm in the snow bed community. The depth of snow and the timing of its disappearance in spring resulted in differences in composition and performance among communities of otherwise similar moisture regimes. The longer an area was snow covered, the shorter was its growing season and the smaller the seasonal degree-day input. Prolonged snow cover was beneficial in maintaining soil moisture, but restricted active layer development. It also exerted direct effects on vegetation. Snow

shields plants from severe frost injury in winter and protect them from winter desiccation (Billings & Bliss, 1959) and abrasion by blowing snow (Savile, 1972). Some species were strongly dependent on adequate snow cover. *Cassiope tetragona* was the most notable example. Its occurrence in snow protected areas was already noted by Savile (1972), Billings (1973), and Parker (1975). Snow cover also affected community diversity and abundance. The richest vegetation with the most continuous plant cover was present in areas with adequate and continuous snow cover during the winter. These were the early snow bed (zone 2), rock outcrop and wet sedge meadow. On the other hand, in the raised beach ridge, with shallow and sporadic snow cover, the vegetation was discontinuous, with fewer species and a very low plant cover.

The snow bed was an exceptional habitat in several ways. Due to the gradual disappearance of the snow, the vegetation that developed there was strongly responsive to snow protection and increased moisture availability but also to decreasing length of potential growing season and thus degree-day availability. In the early melting belt of the snow bed (zone 1 and zone 2) some species benefited from a better winter snow cover and subsequent moisture availability, and showed higher cover and abundance. However, the same plants could not fully compensate for the shorter growing season and loss of degree-days. As well as having a high plant cover, the standing crop and production, per unit area, were very high here. Plant vigor, however, was much behind the rock outcrop plants with a comparable standing crop. In the late melting belt (zone 3 and 4) the benefits of snow protection were outweighed by the intolerable shortness of the growing season (starting from late July) and excessively low radiant energy input.

*Soil moisture* (Table I) varied among the communities from very high in wet sedge meadow and snow bed to extremely low in the raised beach ridge. Total biomass and production increased with increasing soil moisture (Fig. 2). Species sensitive to soil moisture extremes were absent from the habitats exceeding their limits of moisture tolerance and thus the species composition of a community can be related to soil moisture. In saturated soils, root growth would be greatly restricted in most species. In wet calcareous soils (as in the wet sedge meadow) the production of carbon dioxide

affects phosphate availability and the mineral "weathering" and distribution of calcium between hydroxide, carbonate, and bicarbonate in the soil. High carbon dioxide concentrations also affect the permeability of roots (Russel, 1952). The wet soil of the wet sedge meadow tended to be cold, contributing again to the poor nutrient uptake by reducing microbial activity and increasing the viscosity of water (Richards *et al.*, 1952; Holmes & Robertson, 1970). Mesic soil found in mesic sedge meadow and rock outcrop was maintained as the result of two entirely different combinations of conditions. In the mesic sedge meadow, the soil was a well-drained sandy loam that in mid-season would have been quite dry without the continual supply of melt water from the adjacent snow bed uphill. In the rock outcrop, the soil had a very high organic matter content and thus a very high moisture retaining capacity. Without the steep slope of the rock outcrop, providing an effective drainage, the soil might well have been a boggy mat. Where soil moisture was comparable, the total standing crop was also comparable, yet there were dramatic differences in the community composition and plant vigor. Figure 3, based on authors data from Coral Harbour and unpublished data from the low and subarctic (Maycock, pers. comm.), shows that species diversity is greatest in mesic habitats, especially in rock outcrop communities.

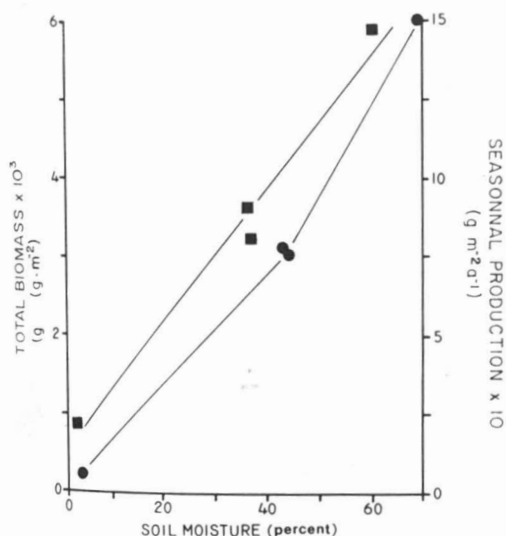


Figure 2. Relationship between soil moisture and plant biomass (mid-July 1976) and seasonal production (1976) in four plant communities near Coral Harbour, N.W.T. Circles = total biomass; Squares = seasonal production.

Species diversity was reduced in both the cold saturated and poorly aerated soils, as well as in the dry, coarse, and organic matter deficient soils. In the raised beach ridge, shortly after the minimal snow had melted, soil moisture content dropped quickly because of the good drainage provided by the loose gravel substrate and high evaporation. The soil thus effectively developed conditions characteristic of a polar semi-desert (Svoboda, 1977). In these extremely dry conditions only species such as *Dryas integrifolia*, *Saxifraga oppositifolia*, *Potentilla vahliana*, *Oxytropis nigra*, *Draba alpina*, *Carex rupestris* and *Festuca brachyphylla* survived. The low diversity, standing crop and production measured in the dry raised beach ridge could be explained primarily by the lack of moisture but secondarily by the high exposure to wind.

Wind is a notable stress factor in the Arctic, affecting plants both directly by re-

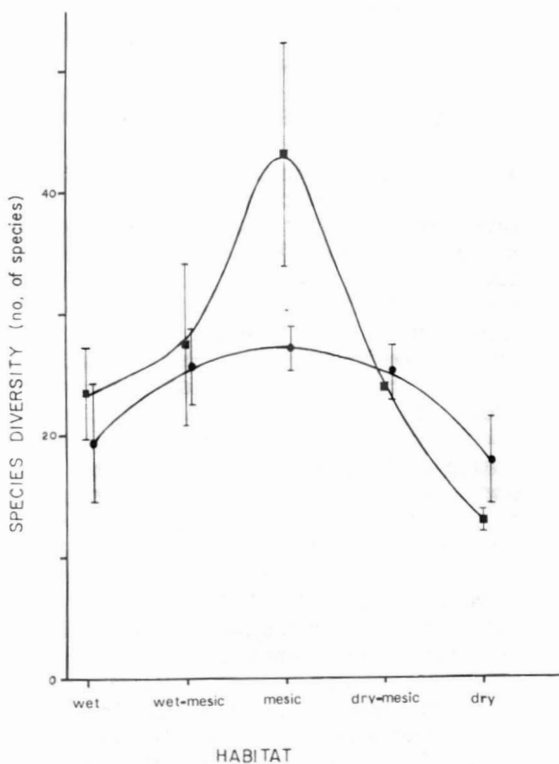


Figure 3. Relationship between species diversity and habitat moisture regime in high arctic and low and subarctic tundra. Circles = Maycock, unpublished data (based on a sample of 41 communities mainly in the southern coasts of Hudson and James Bays and in the Ungava Peninsula. Squares = Authors (based on a sample of 21 communities near Coral Harbour, N.W.T.).

ducing boundary layer and thus causing leaf desiccation and indirectly by its interactions with other environmental factors, for instance, leaf temperature. The prevailing western winds blow unimpeded across the Keewatin region and Hudson Bay waters before reaching Southampton Island. The flat coastal topography of the western and southern portions of the island give little protection to vegetation near Coral Harbour. Parker (1975) reported that at 2 m height annual winds averaged  $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  which is greater than mean winds measured by many stations further north (Thompson, 1967; Hare, 1970). During the summer of 1976 the wind speed near the ground ranged from  $9.8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  at the most exposed site, the raised beach ridge, to  $4.6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$  in the sheltered rock outcrop community where the rugged topography and southwest facing slope buffered the impact of the wind considerably. There was a reciprocal relationship between wind speed and above ground cover and standing crop, given that soil moisture and degree-days were comparable. Where moisture was in good supply, snow depth and wind exposure became critical. Prevailing strong winds had a detrimental effect on the raised beach ridge damaging the community physiognomy and performance. The total standing crop of the rock outcrop vegetation was only slightly higher than in mesic sedge meadow. In the rock outcrop, however the above ground standing crop was nearly twice as great as in the mesic sedge meadow where the mean wind velocity was twice as high. On exposed sites in winter, ice particles propelled by wind destroy or damage unprotected shoots, leaves, and buds. In the raised beach, with a minimal snow cover, cushions of *Dryas integrifolia* and *Saxifraga oppositifolia* were weakly developed or dead on the windward sides. Damage is caused not only by abrasion, but also, by desiccation at freezing temperatures, essentially by "freeze-drying" plant tissues. In this way, the influence of winds may be important in determining the community composition by killing or hindering the development of seedlings from imported seeds. The wind accelerated water loss from plants and soil and by blowing away all litter and fine organic matter would reduce or prevent seedling establishment. Few seedlings were found in the raised beach ridge exposed to winds and with litter virtually absent. In the rock outcrop community, the high species diversity, stature and above ground standing crop were attributed mainly to the wind protection

provided by snow in winter and by jutting rocks in summer. Sheltered pockets and crevices between rocks created a relatively calm microclimate encouraging the germination and survival of seedlings of a wider range of species. In the rock outcrop community, dominance was shared by more species and the stature of all species was most vigorous.

It is known that wind increases the evapotranspiration rate by reducing the boundary layer (Courtin, 1968) and decreases the internal diffusion resistance (Gates, 1968). These effects would be especially detrimental when the soil moisture was low as in the raised beach ridge. Addison (1977) found that on sunny days when winds exceeded  $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  *Dryas* leaf water potentials dropped as low as  $-40$  bars. The average wind-speed in the Coral Harbour raised beach ridge was  $9.8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  and twice recorded (on June 25 and July 16, 1976) as high as  $14.2$  and  $14.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  respectively. It was therefore no surprise that only species with adaptive features such as tiny xeromorphic leaves on compact cushions (*Dryas integrifolia*, *Silene acaulis*), siliceous leaved, low caespitose sedges (*Kobresia myosuroides*, *Carex misandra*) or low prostrate growth forms (*Salix arctica*, *S. reticulata*, *S. herbacea*) were found dominant in the windy habitats such as raised beach ridge and mesic sedge meadow.

As was demonstrated above, only some of the environmental factors studied could be related to qualitative and quantitative differences in vegetation among the communities studied. Vegetation structure, standing crop, or production could not be attributed to any particular lack or abundance of the essential plant nutrients; phosphorus, nitrogen, and potassium. There was no correlation between active layer depth and community structure and performance. The wet sedge meadow and the raised beach ridge, the communities with the deepest active layers, were divergent extremes in all vegetative parameters. On the other hand, the rock outcrop, mesic sedge meadow and wet sedge meadow, with similar plant cover, had quite different active layer depths. In the mesic sedge meadow and rock outcrop, active layer depths were comparable, but the number of species present was very different, indicating no correlation between species diversity and active layer depth. Certain factors must be seen as resulting balances of several parameters. The interplay of soil

type and structure with soil moisture, temperature, and nutrient availability is such a situation. For example, in the wet sedge meadow the soil was true meadow tundra type (gleysolic static cryosol). It would heat more slowly because of the high water, clay and organic matter content. Thus, the wet clay soil would require higher caloric input to raise the temperature, than would be the case in drier soil. In addition, the content of phosphorus and potassium were low in the wet sedge meadow (Table I). In tundra soils these elements are often in short supply (Haag, 1974) and 97% of the nitrogen and potassium in the top 10 cm is bound in a soil pool unavailable to plants (Chapin, 1974). It is the litter which provides the essential nutrients upon decomposition. However, melt water (wet meadow) and wind (raised beach ridge) play important roles in the removal of litter. The wet sedge meadow had essentially no litter remaining on the surface after the spring floods. Thus, many of the potential nutrients were removed annually from the system. In the wet meadows of Devon Island, N.W.T., Muc (1973, 1977) attributed as much as 30% of litter removal to surface runoff.

In some habitats, where nutrients are present in soil solution, their uptake could be further limited by low soil temperature, which affects plant water absorption capacity (Babb & Whitfield, 1977). Thus another factor that indirectly affects the nutrient uptake is the high energy input. Energy input has been shown to be of importance to a number of species (Mooney & Billings, 1961; Billings *et al.*, 1971; Bierhuizen, 1973; Hartgerink & Mayo, 1976). Some species such as *Carex stans*, *C. membranacea*, *Eriophorum angustifolium* and *Arctagrostis latifolia*, found in abundance in the studied wet sedge meadow, appeared quite tolerant of cold soil. Bliss (1962) found *Arctagrostis* and *Eriophorum* with roots growing within 0.5 to 1.5 cm of the permafrost table at temperatures near 0°C. Other species, however, such as *Dryopteris fragrans* and *Woodsia alpina* were found only in the warm and protected crevices of the rock outcrop.

It follows that temperature of the habitat could be indicative of the plant community species composition, but it cannot be used with much success to predict standing crop and production, which seem to be mainly moisture dependent. Habitat temperature did control the phenology of certain species. For example, populations of *Dryas integrifolia*

and *Saxifraga oppositifolia* in the mesic sedge meadow and raised beach ridge, where snow melt was earliest, were more advanced in their development of leaves and flowers than those of the rock outcrop and wet sedge meadow. Fruit development in these species was accelerated in the rock outcrop where there were warm protected pockets between the rocks. The highest temperatures were measured in the rock outcrop. Its sloping (60°) southwest aspect, and rugged relief acted as a windbreak, reducing heat loss by convective cooling. The dark colour of the rock allowed more radiation absorption. These features combined with low wind speeds and mesic moisture regime contributed to the highest species diversity and plant vigor found in the rock outcrop.

### Conclusion

At Coral Harbour, the structure, composition, and stature of the five plant communities studied were a result of the interplay of several environmental factors, yet the prevalent effect of a single factor could be clearly detected. (1) Site moisture availability had the greatest influence on quantitative parameters such as cover, standing crop and production. However, even with similar standing crop, community composition, plant vigor and the distribution of above and below ground biomass were found to be dramatically different. (2) With the exception of late snow beds, cover and species diversity increased with increasing winter snow depth. In areas with little snow cover, such as the raised beach ridge, plant diversity, cover, standing crop, and production were severely reduced. (3) Snow cover protected species sensitive to wind abrasion and freeze-drying such as *Cassiope tetragona*, and provided an important contribution to spring soil moisture, facilitating early plant growth. Throughout the summer, late snow beds provided moisture by runoff to plant communities down a slope. (4) The timing of snow melt affected timing of phenology. Where the snow melted earlier, flowering also was initiated earlier. (5) Given comparable soil moisture and degree-days, there was an essentially reciprocal relationship between mean summer wind speed and above ground cover and standing crop. (6) Temperature alone did not result in higher standing crop or community performance. Higher temperatures favorably affected the

growth and phenology of many arctic species only if sufficient moisture was available. In habitats with low moisture supply, increased temperature further dessicated the soil and contributed to the overall stress. It became obvious that even in high arctic ecosystems, lack of adequate moisture is a primary limiting factor. Species adapted to cold, wet habitats, such as *Carex stans* and *C. membranacea*, which formed dense swards in the wet meadow, showed greater production than the caespitose sedges *Kobresia myosuroides* and *Carex misandra*, which dominated the warmer mesic meadow. (7) No correlation was found between vegetation characteristics and status of essential soil nutrients (N, P, K) or active layer depth. The latter, however, showed some influence (perhaps in combination with low soil temperatures) on the presence or absence of certain species.

Some community composition and performance characteristics were found to have a high degree of predictability from known microenvironmental parameters and vice-versa. If snow cover were not excessive, the wettest communities could be expected to be the most productive. The driest sites, most exposed to the wind and least protected by snow in winter will be sparsely vegetated and dominated by cushion forming species low in production.

Observations presented in this study were made in a specific arctic locality, near Coral Harbour and testing of their applicability throughout the Arctic is desirable. However, other studies described in the literature indicate a basic agreement with our work. Plants in similar microenvironments do form communities with similar structures and responses to those documented here.

### References

- ADDISON, P.A., 1977. Studies on evapotranspiration and energy budgets on Truelove lowland. — Pages 281-300 in L.C. Bliss (ed.). Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high arctic ecosystem. Univ. Alberta Press, Edmonton, 714 p.
- ANDREWS, J.T., 1970. A geomorphological study of postglacial uplift with particular reference to arctic Canada. — Inst. British Geog. London, 156 p.
- BABB, T.A. & D.W.A. WHITFIELD, 1977. Mineral nutrient cycling and limitation of plant growth in the Truelove lowland ecosystem. — Pages 589-606 in L.C. Bliss (ed.). Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high arctic ecosystem. Univ. Alberta Press, Edmonton, 714 p.
- BIERHUIZEN, J.F., 1973. The effect of temperature on plant growth, development and yield. — Pages 89-98 in R.O. Slayter (ed.). Plant response to climatic factors. Proc. Uppsala Symp. Unesco, 256 p.
- BILLINGS, W.D., 1973. Arctic and alpine vegetations: similarities, differences and susceptibility to disturbance. — Biosci., 23: 697-704.
- BILLINGS, W.D. & L.C. BLISS, 1959. An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development and productivity. — Ecology, 40: 388-397.
- BILLINGS, W.D., P.J. GODFREY, B.F. CHABOT & D.P. BOURQUE, 1971. Metabolic acclimation to temperature in arctic and alpine ecotypes of *Oxyria digyna*. — Arc. Alp. Res., 3: 277-289.
- BILLINGS, W.D., G.R. SHAVER & A.W. TRENT, 1973. Temperature effects on growth and respiration of roots and rhizomes in tundra graminoids. — Pages 57-64 in L.C. Bliss & F.E. Wielgolaski (eds.). IBP tundra biome. Proc. Conf. Prim. Prod. & Prod. Processes, Tundra Biome. Dublin, Ireland, 256 p.
- BLISS, L.C., 1956. A comparison of plant development in microenvironments of arctic and alpine tundras. — Ecol. Monogr., 26: 303-337.
- BLISS, L.C., 1962. Adaptations of arctic and alpine plants to environmental conditions. — Arctic, 15: 117-144.
- BLISS, L.C., 1977. Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high arctic ecosystem. — Univ. Alberta Press, Edmonton, 714 p.
- CALDWELL, M.M., 1970. Gas exchange at high wind speeds. — Pl. Physiol., Lancaster, 46: 535-537.
- CHAPIN, F.S., 1974. Morphological and physiological mechanisms of temperature compensation in phosphate absorption along a latitudinal gradient. — Ecology, 55: 1180-1198.
- CODY, W.J., 1951. Additions and annotations to the flora of Southampton Island, N.W.T., Canada. — Can.Fld Nat., 65: 140-143.
- COURTIN, G.M., 1968. Evapotranspiration and energy budgets of two alpine microenvironments, Mt. Washington, N.H. — Ph.D. thesis, Univ. Illinois, Urbana, 172 p.
- DAMMAN, A.W.H., 1976. Plant distribution in Newfoundland especially in relation to summer temperatures measured with the sucrose inversion method. — Can. J. Bot., 54: 1561-1585.
- GATES, D.M., 1968. Transpiration and leaf temperature. — A. Rev. Pl. Physiol., 19: 211-238.
- GERASIMENKO, T.V. & O.V. ZALENSKIY, 1973. Diurnal and seasonal dynamics of photosynthesis in plants of Wrangel Island. — Botan. Zhur 58(11): 1655-1666. Int. Tundra Biome Transl. no. 11, 12 p., 1974.



- HAAG, R.W., 1974. Nutrient limitations to plant production in two tundra communities. — *Can. J. Bot.*, 52: 103-116.
- HARE, F.K., 1970. Tundra climate. — *Trans. R. Soc. Can.*, 8: 392-399.
- HARTGERINK, A.P. & J.M. MAYO, 1976. Controlled environmental studies on net assimilation and water relations of *Dryas integrifolia*. — *Can. J. Bot.*, 54: 1884-1895.
- HOLMES, R.M. & M.J. ROBERTSON, 1970. Heat units and crop growth. — Pages 89-135 in J.G. Nelson, M.J. Chambers & R.E. Chambers (eds.). *Weather and climate*. Methuen, Toronto, 420 p.
- MOONEY, H.A. & W.D. BILLINGS, 1961. Comparative physiological ecology of arctic and alpine populations of *Oxyria digyna*. — *Ecol. Monogr.*, 31: 1-29.
- MUC, M., 1973. Primary production of plant communities of the Truelove lowland, Devon Island, Canada. Sedge meadows. — Pages 3-14 in L.C. Bliss & F.E. Wielgolaski (eds.). *IBP tundra biome. Proc. Conf. Prim. Prod. & Prod. Processes, Tundra Biome*. Dublin, Ireland, 256 p.
- MUC, M., 1977. Ecology and primary production of sedge-moss meadow communities, Truelove lowland. — Pages 157-184 in L.C. Bliss (ed.). *Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high arctic ecosystem*. Univ. Alberta Press, Edmonton, 714 p.
- PARKER, G.R., 1975. An investigation of caribou range on Southampton Island, N.W.T. — *Can. Wildl. Serv. Rep. Ser. no. 33*, 83 p.
- REZNICEK, S.A., 1979. Tundra communities along a microenvironmental gradient, Coral Harbour, N.W.T., Canada. — M.Sc. thesis, Univ. Toronto, 246 p.
- RICHARDS, S.J., R.M. HAGAN & T.M. MCCALLA, 1952. Soil temperature and plant growth. — Pages 308-480 in B.T. Shaw (ed.). *Soil physical conditions and plant growth*. Academic Press, New York, 491 p.
- RUSSEL, M.B., 1952. Soil aeration and plant growth. — Pages 253-301 in B.T. Shaw (ed.). *Soil physical conditions and plant growth*. Academic Press, New York, 491 p.
- SAVILE, D.B.O., 1972. Arctic adaptations in plants. — *Res. Branch Can. Dept. Agric. Monogr. no. 6*, 81 p.
- SORENSEN, T., 1941. Temperature, vegetation and phenology of the Greenland flowering plants. — *Meddr Grønland*, 125: 1-305.
- SUTTON, G.M., 1936. The exploration of Southampton Island, Hudson Bay. — *Mem. Carnegie Mus.*, 12 (1-3), 579 p.
- SVOBODA, J., 1977. Ecology and primary production of raised beach communities, Truelove lowland. — Pages 185-216 in L.C. Bliss (ed.). *Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high arctic ecosystem*. Univ. Alberta Press, Edmonton, 714 p.
- THOMPSON, H.A., 1967. Climate of the Canadian Arctic. — *Can. Dept. Transport. Met. Br.*, Ottawa, 32 p.
- WALKER, B.D. & T.W. PETERS, 1977. Soils of Truelove lowland and plateau. — Pages 31-63 in L.C. Bliss (ed.). *Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high arctic ecosystem*. Univ. Alberta Press, Edmonton, 714 p.
- WARREN-WILSON, J., 1957. Observations on the temperatures of arctic plants and their environment. — *J. Ecol.*, 45: 499-531.



## VEGETATION HISTORY OF THE HUDSON BAY LOWLAND: A POSTGLACIAL POLLEN DIAGRAM FROM THE SUTTON RIDGE

J. H. McANDREWS

*Department of Botany, Royal Ontario Museum  
and Departments of Botany and Geology  
University of Toronto, Toronto, Ontario M5S 2C6*

J. L. RILEY

*Department of Botany, Royal Ontario Museum  
Toronto, Ontario M5S 2C6*

and

A. M. DAVIS

*Department of Geography, University of Toronto  
Toronto, Ontario M5S 2C6*

### Résumé

On a prélevé une carotte de 450 cm dans le lac R (54°19'20" N., 84°33'30" O.) à environ 145-148 m au-dessus du niveau de la mer, dans les basses-terres de la baie d'Hudson. Le sable à mollusques marins est recouvert d'argile, de marne et de gyttja. Selon deux datations au radiocarbone et en considérant le sédiment de surface, le lac aurait émergé de la mer vers 8 200 ans B.P., à la suite d'un relèvement isostatique. Le pollen fossile de même que les macrofossiles révèlent une succession de la toundra côtière herbacée à la toundra arbustière, puis à la pessière contemporaine, il y a de 8 200 à 6 500 ans. Cette succession résulterait d'un déclin dans l'influence du climat marin à la suite du retrait de la baie d'Hudson.

### Abstract

A 450 cm long core was sampled in R Lake (informal name) at 54°19'20" N, 84°33'30" W, elevation 145-148 m asl, in the Hudson Bay lowland. Sand with marine mollusks is successively overlain by clay, marl and gyttja. A sedimentation rate based on two radiocarbon dates and the modern sediment surface provide an estimate of 8,200 years B.P. for lake emergence from the sea in response to isostatic rebound. Fossil pollen and macrofossils show a succession from sparse coastal tundra to shrub tundra to the modern spruce woodland between 8,200 and 6,500 years ago. This succession was a response to the decreasing influence of marine climate as Hudson Bay retreated.

### Introduction

Upon the retreat of the Laurentide Ice Sheet approximately 8,000 years ago, the Hudson Bay lowland (Fig. 1) was inundated by the Tyrrell Sea which deposited marine silt and clay (Prest, 1970). Subsequent isostatic rebound has caused widespread emergence from Hudson Bay. The land near Cape Henrietta Maria has been emerging at a rate of 1.2 m per century for the past 1,000 years (Webber *et al.*, 1970), presenting almost a 30 km wide band of new terrestrial substrate.

The rate of emergence has decreased by an order of magnitude since deglaciation (Wagner, 1967).

Because of the climatic effects of Hudson Bay, there is a strip of arctic tundra between the bay and the sparsely forested land to the interior. Most of the lowland is a low elevation plain of calcareous marine deposits underlain by Palaeozoic (and Mesozoic) sedimentary rock. The lowland reaches elevations of 130 to 210 m in Ontario. Poor drainage has resulted in widespread develop-

ment of peatland communities dominated by black spruce (*Picea mariana*), tamarack (*Larix laricina*) and *Sphagnum*, and open bogs and fens dominated by *Sphagnum* and other mosses, sedges (*Carex* spp.) and shrub birch (*Betula pumila* var. *glandulifera*). River banks, old beach ridges and subglacial deposits, where the drainage is better, support other boreal forest trees, including white spruce (*Picea glauca*), balsam fir (*Abies balsamea*), aspen (*Populus tremuloides*), balsam poplar (*P. balsamifera*) and white birch (*Betula papyrifera*) (Rowe, 1972; Sims *et al.*, 1979). Jack pine (*Pinus banksiana*), a common forest dominant south and west of the lowland, is confined to a few raised beach ridges in the interior of the lowland (Riley, 1980).

The Sutton Ridge, a series of exposed inliers of Precambrian bedrock (Sanford *et al.*, 1968) with a maximum elevation of 282 m asl, protrudes as much as 140 m above the surrounding lowland. Although lower parts of the Ridge have a veneer of calcareous marine sediment, its higher elevations may not have been inundated by the Tyrrell Sea.

The only radiocarbon dated vegetation history study from the lowland is from a section along the Attawapiskat River (58°8' N, 85°18' W) (Sjörs, 1963). About 1 m of *Sphagnum* peat overlies 30 cm of decomposed woody fen peat that grades into marine clay containing arctic mollusks. The lower peat is dated at 4,700 ± 80 years B.P. and occurs

at an elevation of about 114 m according to our interpolation of the contours on the Matateto River map (NTS 43F). The pollen diagram (Terasmae & Hughes, 1960) is dominated throughout by *Picea* with lower percentages of *Pinus*, *Betula* and *Alnus*. In the peaty clay, foraminifera indicate brackish water and high Cyperaceae pollen suggests a salt marsh. In the overlying woody peat, peaks of *Betula* pollen mark the succession to a shrub-dominated fen. Further succession to the modern vegetation is indicated by the relatively abundant Ericaceae pollen and *Sphagnum* spores in overlying *Sphagnum* peat. Sjörs (1963) interpreted the succession, that began with emergence from the sea by at least 4,700 years ago, to be from fen to muskeg, the result of decreasing availability of mineral nutrients. There was no evidence of an initial tundra phase.

This pioneer study contains a relatively late record and, in addition, the complex stratigraphy might conceal variable sedimentation rates or even a hiatus in sedimentation. We studied a lake sediment core at a higher elevation on the Sutton Ridge to overcome these stratigraphic problems.

### Materials and methods

R Lake (informal name), cored on August 28, 1979, is located on the Sutton Ridge immediately southwest of central Aquatuk Lake (54°18'20" N, 84°33'30" W), at an elevation of 145-148 m; it has a surface area of about 1.5 ha (Fig. 2). The lake is surrounded by a hummocky *Sphagnum* bog with small black spruce and tamarack trees, shrub birch, willows and heaths (*Ledum groenlandicum*, *Chamaedaphne calyculata* and *Vaccinium uliginosum*). Small fen hollows between hummocks are dominated by Cyperaceae, including *Eriophorum viridi-carinatum*, *Carex* spp. and *Scirpus* spp. and contain *Juniperus horizontalis*. *Shepherdia canadensis* grows on the slope down to Aquatuk Lake. R lake (pH 6.2) supports *Nuphar luteum* ssp. *variegatum* and *Menyanthes trifoliata*.

We used a piston sampler (Wright, 1967) to obtain a 450 cm long core at the center of the lake where the water was 250 cm deep. Sediment moisture content was determined by oven drying at 100°C. Organic C and CaCO<sub>3</sub> were determined from weight loss at 550°C and 1000°C respectively; corrected percentages of dry sediment were calculated (Dean, 1974).

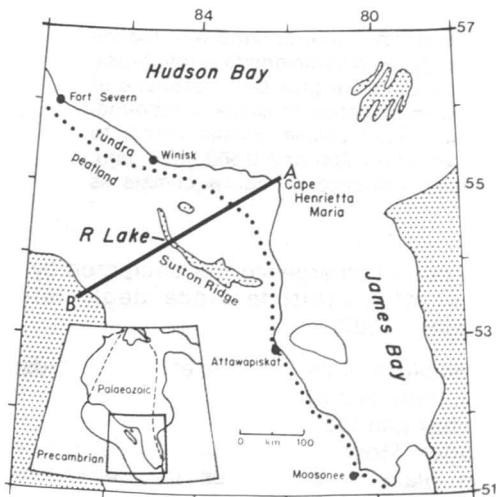


Figure 1. Map of Hudson Bay lowland showing R Lake on the Sutton Ridge. A-B is the profile in Figure 2.

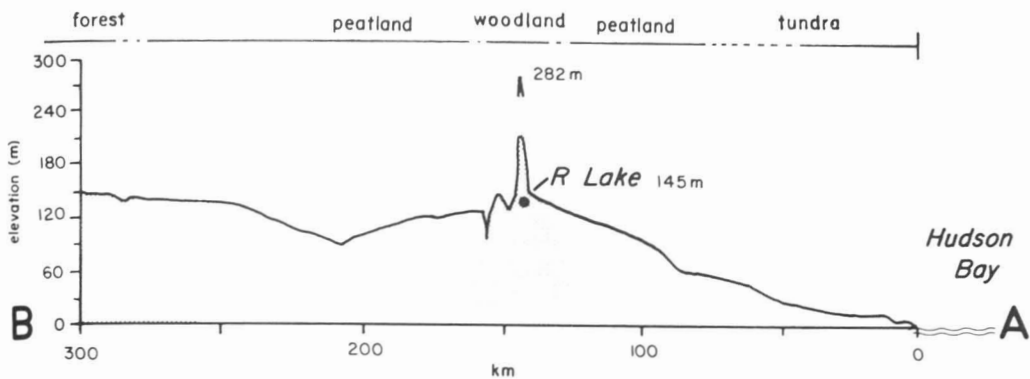


Figure 2. Topographic profile from Cape Henrietta Maria (A) southwest to the margin of the lowland (B). Stipple indicates Precambrian rock.

Pollen concentration was estimated from volumetric samples, usually of 0.9 ml, that had been spiked with exotic *Lycopodium* spores (Stockmarr, 1970). Sediment was prepared for pollen analysis by treatment with HCl, KOH, HF and acetolysis; in addition, pollen was concentrated from mineral samples after HCl by decanting and using a 10  $\mu$ m microsieve (Cwynar *et al.*, 1979). Pollen and spore identifications were made with a modern reference collection (McAndrews *et al.*, 1973).

Plant macrofossils (leaves and seeds) were concentrated by washing core segments over a 600  $\mu$ m sieve and identifications were made by comparison with a modern reference collection.

## Results

The core graded upward from sandy gravel (450-420 cm), containing the arctic marine mollusk *Hiatella arctica*, to clayey sand, clay and then marl containing freshwater mollusks; this was overlain by gyttja (Figs. 3, 4). Moisture content increases sharply from a minimum of 14% in the lowermost clayey sand to 90% in the lower gyttja, then gradually increases to 99% in the surface gyttja. Figure 3 is a ternary diagram (Swain, 1956) which shows the lower sand to be rich in  $\text{CaCO}_3$ , probably from clastic carbonates, as compared to the overlying clay. The terrigenous clay is gradually replaced by authigenic marl that is in turn rapidly succeeded by organic gyttja. Most of the residue from the gyttja is silica, mainly diatoms and sponge spicules with a small amount of terrigenous clastics but iron is present as "pyrite" crystals.

Pollen percentages from 52 levels were calculated on a pollen sum of 301 to 363 for each level (Table I). Pollen types not plotted in Figure 4 include occasional grains attributable to long distance transport: *Quercus*, *Tilia*, *Juglans*, *Acer*, *Tsuga*, *Fraxinus*, *Ulmus*, *Ostrya/Carpinus*, *Carya*, *Fagus*, *Platanus*, *Corylus*, *Sarcobatus*, *Ephedra*, *Iva ciliata*, *I. xanthifolia* and *Xanthium* (Table I). Occasional pollen grains probably derived from local herbs include *Thalictrum*, *Tubuliflorae p.p.*, *Liguliflorae*, *Rosaceae*, *Arceuthobium*, *Menyanthes*, *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Rumex* and *Campanula*. Of the aquatics, *Nuphar* occurs down to 240 cm, *Sparganium* between 280 cm and 325 cm and *Ranunculus* (*Batrachium* type) between 375 cm and 385 cm; occasional grains include *Nymphaea*, *Potamogeton* and *Myriophyllum*. Occasional spores include *Lycopodium*, *Equisetum*, *Dryopteris* type, *Pteridium* and *Isoetes*.

The percentage pollen diagram (Fig. 4) was zoned using constrained linkage (CONSLINK) of Gordon & Birks (1972). Two pollen zones were identified. Zone 1 in the older mineral sediment has high CONSLINK values as compared to zone 2, indicating higher inter-level variability.

Subzone 1a, contained in the clastic mineral horizon, has high *Picea*, *Pinus*, Gramineae and *Sphagnum* relative to subzone 1b of the marl horizon. Subzone 1b is dominated by *Betula*, *Salix* and Cyperaceae with small but distinctive peaks of Cupressaceae, *Populus*, *Shepherdia* and Ericales. *Plantago*, probably *P. maritima* (seaside plantain), is restricted to zone 1.

The relatively complacent zone 2 contained in gyttja is dominated by *Picea* with

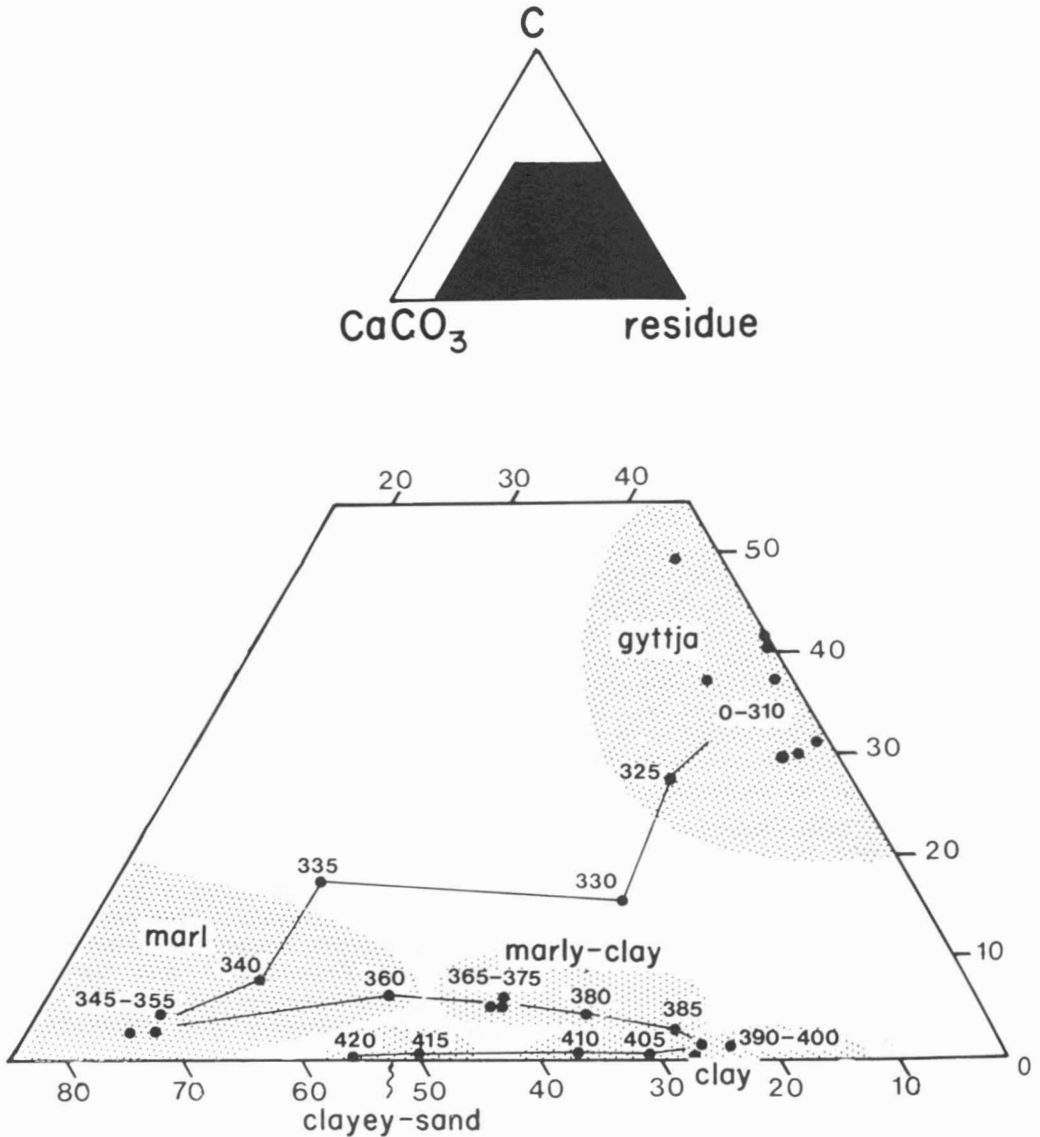


Figure 3. Ternary diagram showing percentage composition of sediment of R Lake. Residue is largely silicates.

lower values of *Pinus*, *Betula*, *Alnus*, Cyperaceae and *Sphagnum*; *Larix* is virtually confined to this zone.

Pollen concentration is lowest in zone 1 and rises to a peak of 100,000 per ml in the middle of the gyttja; the decrease of pollen concentration in the upper gyttja is attributed to increased moisture content.

Two radiocarbon dates were obtained from the gyttja: the 170-180 cm level was  $2870 \pm 90$  years B.P. (WAT 736), and the 325-335 cm level was  $6490 \pm 140$  years B.P.

(WAT 738). A linear regression using these two dates and the sediment surface (0 year) yielded the equation  $Y = 11.4693 + 0.505X$  with  $r = 0.988$ , a general sedimentation rate of  $0.0505 \text{ cm} \cdot \text{year}^{-1}$  or  $19.8 \text{ years} \cdot \text{cm}^{-1}$  (Fig. 5).

A crude pollen influx diagram was constructed with the constant sedimentation rate of  $19.8 \text{ years} \cdot \text{cm}^{-1}$ . It was unsatisfactory because it showed erratic values together with a sharp decrease in influx in the upper metre that probably reflected an unmeasured

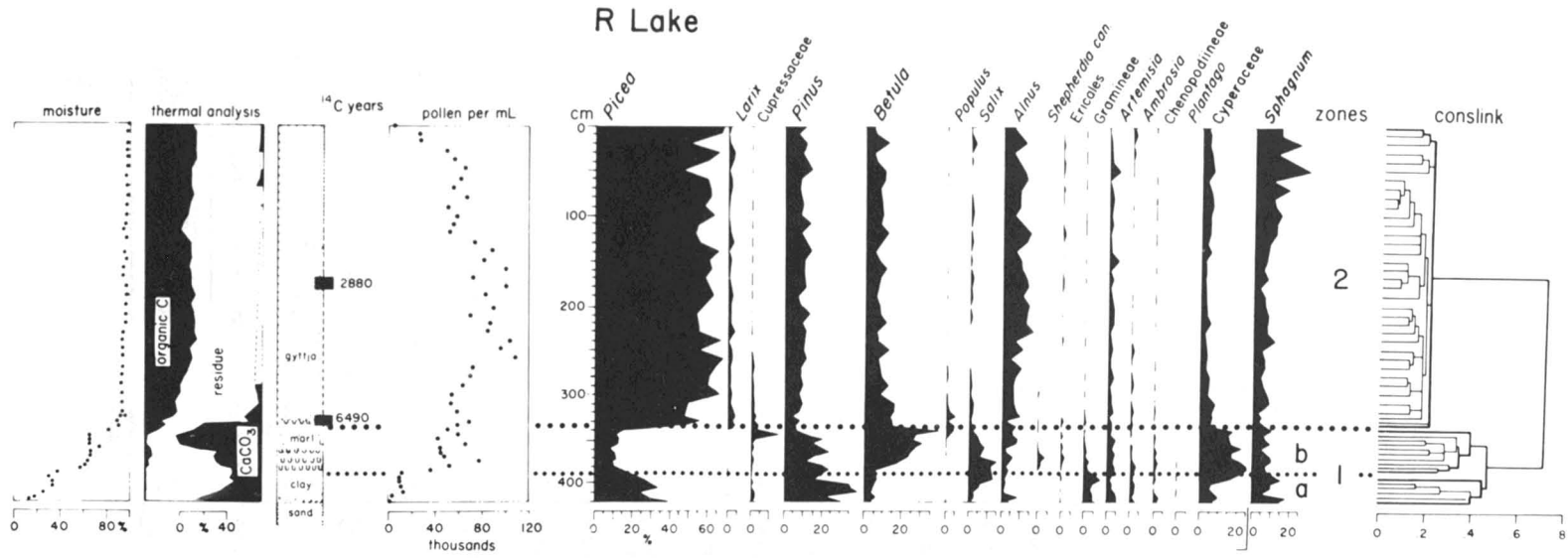


Figure 4. Percentage pollen diagram from R Lake core. Also given are pollen concentration, radiocarbon dates (years B.P.), sediment composition and moisture content.

TABLE I  
Pollen and spore counts from R Lake not plotted in Figure 5

Level (cm)	Pollen sum	Quercus	Abies	Ulmus	Myrica	Tubuliflorae p.p.	Liguliflorae	Iva ciliata	Rosaceae	Ranunculaceae	Nuphar	Potamogeton	Sparganium type	Dryopteris type	Lycopodium	Equisetum	Indeterminable	Unknown
1	309	1			1						1				1		2	Juglans 1, Thalictrum 1
10	332	2			1												2	Tilia 1
20	315	1									3	1				2		
30	326	1				1					1				1			Acer 1, Tsuga 1
40	338	1									2						1	Nymphaea 2
50	321	1				2					1					3		Thalictrum 1
60	347	1			1	3										1		
70	363	5				4			1									Isoetes 1
80	346	1				5			2									Rumex 1
90	348	1		1		2												
100	331	4		1		2			1									
110	338	1		1		2					1							
120	331	1		1	3	2					3	1						
130	329	2			1	1			1									Fraxinus 1
140	336	1			1	1					1							Rumex 1
150	359	2				1					1							Acer 1
160	332	1																
170	329	1			3				1									
180	328	1		1	1	1					2	1						
190	337	2			4				1		2							Corylus 1
200	332	2			2	3			2									
210	332	1			1													
220	329	1			1	1					2							Ostrya 1
230	320	1			2	1			2		1							Sarcobatus 1
240	345	2			1	2					2							
250	313	1		1												1		
260	325	1													1			
270	309	2			2						1				1			Fraxinus 1
280	320	3			2						1				2			
290	309	2			1	1					1				1			Fraxinus 1, Menyanthes 1



Level (cm)	Pollen sum	<i>Quercus</i>	<i>Abies</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Myrica</i>	Tubuliflorae p.p.	Liguliflorae	<i>Iva ciliata</i>	Rosaceae	Ranunculaceae	<i>Nuphar</i>	<i>Potamogeton</i>	<i>Sparganium</i> type	<i>Dryopteris</i> type	<i>Lycopodium</i>	<i>Equisetum</i>	Indeterminate	Unknown
300	301	2			2	1						1	1			7	3	Arceuthobium 1 Carya 1, Fagus 1
310	321	2			1	1										7	2	
320	332	1			2							4	1	1		4	4	<i>Ephedra</i> 1
325	338	2	1	3												7	1	
330	313	2			1							1	1			4	2	
335	318				1	1									3	4	5	<i>Fraxinus</i> 1, <i>Rumex</i> 1
340	309	1			1							1				4	1	
345	325	2				1						1				5	6	
350	320	2				1					1	1				5	4	<i>Myriophyllum</i> 1
355	316					1	1		1			1				5	6	
360	336	2			1	2	1	2	1	2					1	14	2	<i>Myriophyllum</i> 1 <i>Fraxinus</i> 1, <i>Caryophyllaceae</i> 1
365	302	1			1	2	2	1	2				1	1	1	2	3	
370	315	1			1	2	2	1	2					1	1	1	3	
375	336	1			1	3	3	1	1	4			1	1	2	2	3	<i>Xanthium</i> 1, <i>Pteridium</i> 1
380	322	2			2	2	1	1	6					1	2	3	3	<i>Pteridium</i> 1
385	337	2			1	2	2	1	1	11					2	3	7	<i>Thalictrum</i> 1
395	315	2			4	4						2		1	1	9	7	
400	303	1			1	1								1	1	1	6	<i>Caryophyllaceae</i>
405	322	1			2	2								1	1	1	5	<i>Juglans</i> 1, <i>Osmunda</i> 1
410	333	1			4	4	1	1					1	1	1	3	3	<i>Platanus</i> 1, <i>Cruciferae</i> 1
415	303		2		3	3	2	1					1	1	2	8	1	<i>Campanula</i> 1, <i>Typha</i> 1, <i>Iva xanthifolia</i> 1
420	305	1			1	1	1	1					1	1	1	2	1	

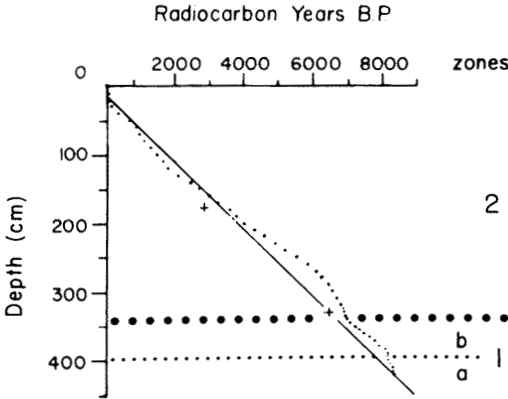


Figure 5. Graph of sedimentation rate of R Lake core. The straight line summarizes the surface and two radiocarbon dates. The curvilinear line is based on a constant *Pinus* influx of 329 pollen · cm<sup>-2</sup> · year<sup>-1</sup>.

increase in sedimentation rate owing to decreased compaction. However, the *Pinus* influx values were useful in calculating an adjusted sedimentation rate for each level and drawing a more realistic influx diagram.

The adjusted sedimentation rate was based on the assumption of a constant influx of the exotic *Pinus* pollen; the 52 levels had a mean value of 329 pollen · cm<sup>-2</sup> · year<sup>-1</sup>. For each level, an adjusted sedimentation rate was calculated as the product of the constant sedimentation rate (19.8 cm · year<sup>-1</sup>) and the *Pinus* influx at that level divided by the mean *Pinus* influx. The age of each sample (Fig. 5) was determined by extrapolating the adjusted sedimentation rate of each sample downward to the next older

sample and adding the proceeding age, beginning at the surface.

With the adjusted sedimentation rate, the new influx diagram (Fig. 6) shows that when the lake was isolated from the sea about 8,200 years B.P. influx was at a minimum (900 · cm<sup>-2</sup> · year<sup>-1</sup>) and rose through zone 1 especially by the contributions of *Betula*, *Salix* and *Cyperaceae*. At the beginning of zone 2 about 6,600 years B.P., a five-fold increase in *Picea* influx marks spruce woodland development. In zone 2 pollen influx varies but centers around 2,500 · cm<sup>-2</sup> · year<sup>-1</sup>. *Sphagnum* spore influx has doubled since 2,000 years B.P. and probably reflects bog development around the lake.

Plant macrofossils (Table II) were absent in the coarse sediment between 450 cm and 410 cm. Subzone 1a has a sparse assemblage of *Dryas*, *Carex* and *Coleogeton*; the latter is a section of *Potamogeton* (pond weed) containing *P. filiformis* and *P. pectinatus*, species that can inhabit brackish water. Subzone 1b has a more diverse assemblage indicating more abundant and diverse vegetation. *Dryas*, an abundant tundra species at Cape Henrietta Maria now absent from the Ridge, has abundant macrofossils. Shrub *Betula* macrofossils correspond to the *Betula* pollen peak. Zone 2 is dominated by *Picea* and *Larix*, tree species that first appear in subzone 1b. The lower part of zone 2 that spans the interval from about 6,500 to 3,000 years ago has a more abundant and diverse assemblage than the past 3,000 year interval, suggesting vegetation pauperization around the lake in response to development of a

TABLE II

Plant macrofossils per litre of sediment from R Lake core\*

Pollen zones	Sediment volume (l)	Levels (cm)	Plant macrofossils per litre of sediment													
			<i>Picea</i>	<i>Larix</i>	<i>Betula</i> (shrub)	<i>Dryas integrifolia</i>	<i>Carex</i>	<i>Coleogeton</i>	<i>Eupotamogeton</i>	<i>Batrachium</i>	<i>Hippuris</i>	<i>Menyanthes</i>	<i>Nuphar</i>	<i>Najas flexilis</i>		
2	2.56	0-170	25	15												
2	3.04	185-345	73	75		1	2		13				1	1	1	1
1b	0.91	345-390	1	5	2	69	3	12	4	27	3					
1a	0.61	390-410				18	2	7								

\* *Picea* and *Larix* combine needles and seeds, *Dryas* is leaves and others are seeds.

*Sphagnum*-dominated peatland. The seeds of *Najas flexilis* are of particular interest because this southern aquatic species apparently does not occur in the modern flora of the lowland (Riley, 1980).

### Discussion

The interpretation of these fossil assemblages is assisted by a discussion of the modern vegetation along the Sutton Ridge-Cape Henrietta Maria axis, the axis of maximum rates of postglacial uplift and, presumably, the axis of oldest-to-most-recent colonization.

The modern vegetation of the Sutton Ridge, described by Sjörs (1961), is dominated by black spruce on both dry and wet sites. White spruce and aspen are local on mesic sites. Balsam poplar is scattered and tamarack is mainly confined to wet sites and peatland. Conspicuous shrubs include juniper (*Juniperus communis*, *J. horizontalis*), willows (*Salix* spp.), alder (*Alnus crispa*), shrub birch, *Shepherdia canadensis* and ericaceous species such as *Empetrum nigrum*, *Ledum groenlandicum* and *Chamaedaphne calyculata*. Parts of the ridge are plateaus supporting shallow peatland dominated by black spruce and *Sphagnum* moss.

The Sutton Ridge area is higher and better drained than most of the lowland. Most of the outcrops are dominated by open spruce woodland with a low-shrub ground cover on very shallow peat or, less often, ericaceous bog shrubs on deeper peat. In the vicinity of Hawley, Sutton and Aquatuk lakes, distinctive subglacial river deposits of coarse sand support lichen-rich spruce woodland with very sparse shrub cover.

The gentle slope between the ridge and Cape Henrietta Maria is characterized by decreasing tree cover, increased shrub dominance (especially willow), and increased presence of permafrost. As the ridge emerged from the sea it probably had a wind-swept coastal environment similar to that of Cape Henrietta Maria.

Modern vegetation of the cape occupies a series of recently uplifted beach ridges, offshore bars and inter-ridge ponds. Ridge summits are exposed to cold onshore winds. Except for species such as *Elymus mollis*, *Honkenya peploides*, *Dryas integrifolia*, *Hedysarum mackenzii*, *Astragalus alpinus*, *Draba* spp., *Artemisia borealis*, *Empetrum nigrum*, *Salix arctica/arctophila*, *Saxifraga tricuspidata*,

*Androsace septentrionalis* and numerous lichens, the ridges are decidedly barren, increasingly more so coastward.

The inter-ridge meadow-marshes at the Cape support communities dominated by sedges (*Carex subspathacea*, *C. mackenzii*, *C. glareosa*, *C. saxatilis*, *C. aquatilis*) and grasses (*Puccinella phryganodes*, *Calamagrostis stricta*, *Festuca rubra*) with other species such as *Salix candida*, *S. brachycarpa*, *Juncus balticus*, *Potentilla egedii* and *Hippuris vulgaris*.

Tundra dominates slopes between ridge summits and inter-ridge meadow-marsh, and covers the summits of less exposed ridges away from the shoreline. Lichens and mosses are prominent as are shrubs such as *Dryas integrifolia*, *Vaccinium uliginosum*, *Ledum decumbens*, *Rhododendron lapponicum*, *Arctostaphylos rubra*, *Salix reticulata*, *Empetrum nigrum* and prostrate white spruce.

Of the species mentioned for the cape, four (*Ledum decumbens*, *Rhododendron lapponicum*, *Saxifraga tricuspidata*, *Dryas integrifolia*) are characteristic low arctic species not found along western James Bay (Riley, 1980). Southward along this coast, the tidal marsh widens and contains more species (Riley & McKay, 1980), with the addition of many temperate halophytes and estuarine species which do not presently occur as far north as *Dryas integrifolia*.

The climate of the tree-less tundra along southern Hudson Bay and at Cape Henrietta Maria can only be characterized very generally, for example, a less-than 65-day growing season, because there are no long-term meteorological data from the southern Hudson Bay coast (Canada, 1974). The maritime tundra zone is 8 to 30 km wide along Ontario's Hudson Bay and up to 50 km wide at Cape Henrietta Maria. The local maritime effects derive in large part from the north-to-south disappearance of the Hudson Bay ice cover, with the latest ice in Hudson Bay (usually late August) remaining in the Fort Severn to Cape Henrietta Maria area, and with prevailing onshore, northwest winds that produce lower spring and summer temperatures, and spring and summer fog that decrease effective solar radiation (Lardner, 1968).

The fossil assemblages of the core at R Lake provided a general homology with the temporal succession of vegetation inland

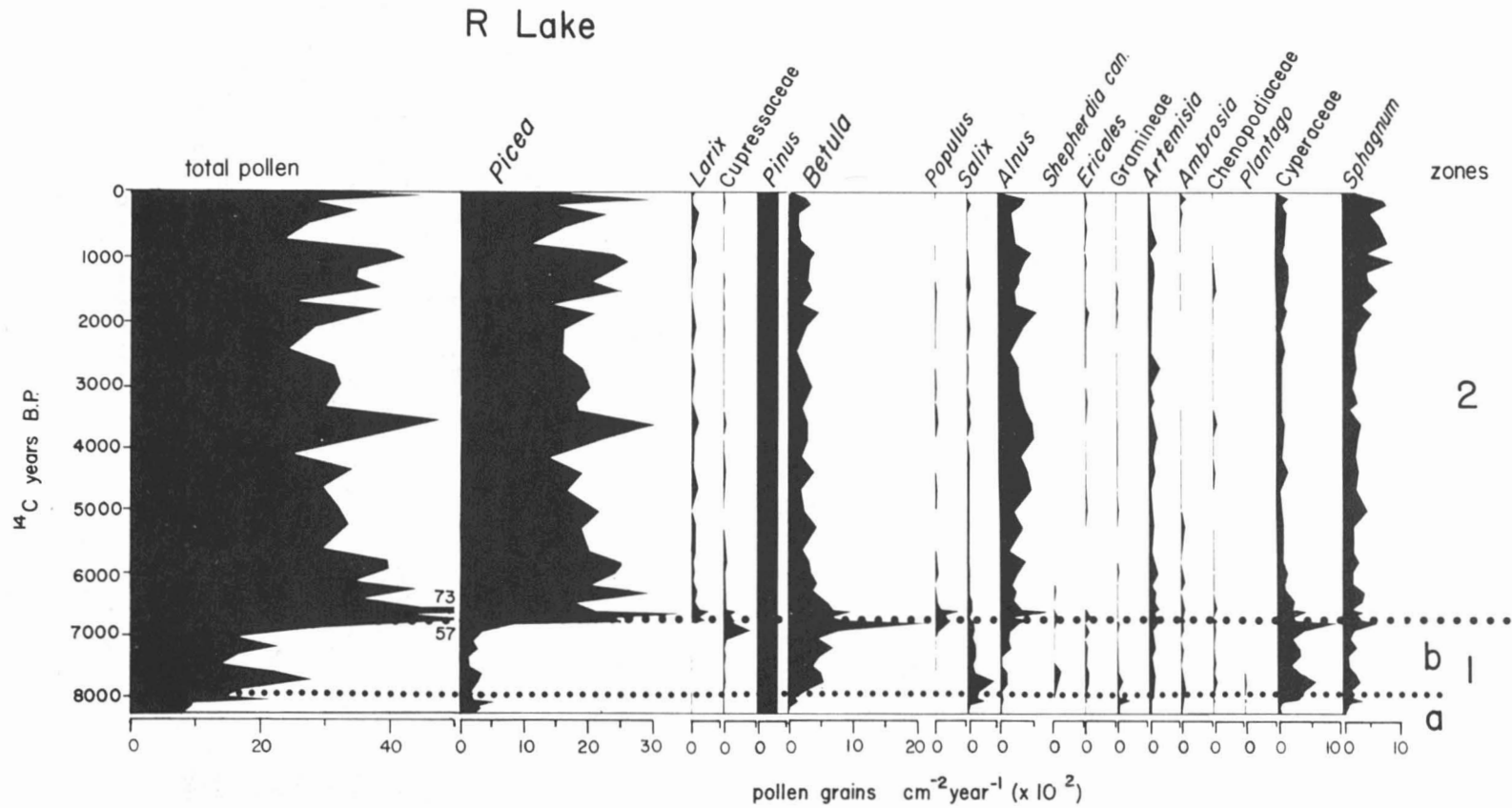


Figure 6. Influx pollen diagram from R Lake core. The rate sedimentation is adjusted for constant *Pinus* pollen influx.

from Cape Henrietta Maria towards the Sutton Ridge.

When interpreted literally, the percentage pollen diagram (Fig. 4) indicates that an initial spruce-pine forest in subzone 1a was succeeded by a birch-willow-sedge tundra in subzone 1b, followed by the modern spruce woodland in zone 2 — a classic warm-cold-warm climatic fluctuation. However, the low initial pollen concentration and influx, whether determined by a straight line or by a *Pinus*-corrected sedimentation rate, indicates that the initial *Pinus* and *Picea* peaks result from relatively low pollen input from local vegetation. The sparse vegetation of subzone 1a is supported by the occurrence of pollen in clay, an erosion product of unstable slopes. This subzone also lacks the tree needles that are abundant in zone 2.

The assumption of a constant *Pinus* influx to determine sedimentation is a new approach, although it was anticipated by Maher (1963). Pine grows in the lowland in small, isolated stands on raised beach ridges; the closest stand is 175 km from R Lake. In contrast, pine is a forest dominant south of the lowland in northern Ontario (Halliday & Brown, 1943) and here *Pinus* has been the dominant fossil pollen type for the past 9,000 years (McAndrews, 1981). Thus it is likely that the vast majority of the *Pinus* pollen in the R Lake sediments derived from pine forest that grew south of the lowland.

With the recession of the Laurentide ice sheet about 8,000 to 9,000 years ago the Tyrrell Sea flooded the lowland. The crests of the ridge north of R Lake were probably not inundated. The highest beach ridges we saw on Aquatuk Lake outcrops occur at 225 m asl. Thus, higher uplift rates than documented (Wagner, 1967) are needed to explain inundation. Rapid rebound caused the ridge to become an increasingly larger island. The island effect is evident in the modern flora; the flat, exposed summits of these outcrops support several disjunct arctic-alpine and acidophilous species (Riley, 1979). These tundra species are possibly relicts from the tundra period on the island.

The fossil record at R Lake shows that the initial upland vegetation was a sparse tundra dominated by *Dryas*, willows, grasses and sedges with such coastal species as seaside plantain; *Potamogeton* grew in the brackish lake water. With continued rebound shrub birch came to dominate the tundra together with *Shepherdia* and heaths. This succession

is analogous to the community series at Cape Henrietta Maria and the Belcher Islands. We believe that the present bay-cooled climate of the cape would have occurred around the shores of the larger Tyrrell Sea, especially on offshore islands.

A modern pollen rain study at the cape is lacking, but Bazely (1981) reported pollen spectra from 21 surface samples in the coastal tundra at La Pérouse Bay, Manitoba. They resemble zone 1 rather than zone 2 not only by the dominance of Cyperaceae, Gramineae and *Salix* but also because *Pinus* equals or exceeds *Picea*. Although the samples are along a transect from the foreshore inland across beach ridges, their spectra do not yield groups similar to subzones 1a or 1b.

The modern spectra reflect both climatic and substrate controls as do those at R Lake. The persistence of *Salix* and *Shepherdia canadensis* through zone 1 is related to the high pH of the newly emerged substrate. Richard (1974) attributes the presence of *S. canadensis* in the basal spectra of pollen records from Québec to its preference for base-rich substrates and its demise higher in the same sequences to increasing acidity.

At the Sutton Ridge, further rebound enlarged the island and reduced the influence of the cold sea, permitting spruce, tamarack and poplar forest growth beginning about 6,500 years ago. The ridge ceased to be an island about 5,000 years ago, although this event had no apparent effect on the ridge vegetation.

*Najas flexilis* presence in the lake between 6,500 and 3,000 years ago suggests a hypsithermal climate because the nearest reported modern collection is 300 km southward (Baldwin, 1958). In nearby Québec 5,000 year old white pine (*Pinus strobus*) fossils from a point 100 km north of its modern range (Terasmae & Anderson, 1970) also supports the case for a hypsithermal interval. The decrease of tree macrofossils (Table II) and the increase of *Sphagnum* after 2,500 years ago suggest neoglacial cooling and regional paludification.

### Acknowledgments

We thank D. Siddiqi, C. Manville and D. Metsger for laboratory assistance and manuscript preparation. Critical comment on the manuscript was supplied by R. Spear and W. Glooschenko. The work was supported by NSERC operating grants A5699 and A6063.

## References

- BALDWIN, W.K.W., 1958. Plants of the Clay Belt northern Ontario and Québec. — Bull. natn. Mus. Can., no. 156, 324 p.
- BAZELY, D.P., 1981. The surface pollen spectra of La Pérouse Bay, Manitoba, Canada. — B.A. thesis, Dept. Geography, Univ. Toronto, 62 p.
- CANADA, 1974. The national atlas of Canada. — Macmillan Co., in assoc. with Dept. of Energy, Mines and Resources and Information Canada, Ottawa, 254 p.
- CWYNAR, L., E.T. BURDEN & J.H. McANDREWS, 1979. An inexpensive sieving method for concentrating pollen and spores from fine-grained sediments. — Can. J. Earth Sci., 16: 1115-1120.
- DEAN, W.E. Jr., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. — J. sedim. Petrol., 44: 242-248.
- GORDON, A.D. & H.J.B. BIRKS, 1972. Numerical methods in Quaternary palaeoecology. I. Zonation of pollen diagrams. — New Phytol., 71: 961-979.
- HALLIDAY, W.E.D. & A.W.A. BROWN, 1943. The distribution of some important forest trees in Canada. — Ecology, 24: 353-373.
- LARDNER, M.P., 1968. The ice. — Pages 318-314 in C.S. Beals (ed.), Sciences history and Hudson Bay. Dept. Energy, Mines and Resources, Ottawa, 2 volumes, 1057 p.
- MAHER, L.J. Jr., 1963. Pollen analysis of surface materials from the southern San Juan Mountains, Colorado. — Bull. geol. Soc. Am., 74: 1485-1504.
- McANDREWS, J.H., 1981. Late Quaternary climate of Ontario: temperature trends from the fossil pollen record. — Pages 321-333 in W.C. Mahaney (ed.), Quaternary paleoclimate. Geo Abstracts, Norwich, 464 p.
- McANDREWS, J.H., A.A. BERTI & G. NORRIS, 1973. Key to the Quaternary pollen and spores of the Great Lakes region. — Royal Ontario Museum, Misc. Publ., 61 p.
- PREST, V., 1970. Quaternary geology of Canada. — Pages 443-495 in R.J.W. Douglas (ed.), Geology and economic minerals of Canada. Dept. Energy, Mines and Resources, Ottawa, 838 p.
- RICHARD, P., 1974. Présence de *Shepherdia canadensis* (L.) Nutt. dans la région du parc des Laurentides, Québec, au tardiglaciaire. — Naturaliste can., 101: 763-768.
- RILEY, J.L., 1979. Some new and interesting vascular plant records from northern Ontario. — Can. Fld Nat., 93: 355-362.
- RILEY, J.L., 1980. The flora and phytogeography of the Hudson Bay lowland. — M. Sc. thesis, Dept. Botany, Univ. Toronto, 436 p.
- RILEY, J.L. & S.M. McKAY, 1980. The vegetation and phytogeography of coastal southwestern James Bay. — Royal Ontario Museum, Life Sci. Contr., no. 124, 81 p.
- ROWE, J.S., 1972. Forest regions of Canada. — Dept. Environment, Can. Forestry Serv. Publ. no. 1300, 172 p.
- SANFORD, B.V., A.W. NORRIS & H.H. BOSTOK, 1968. Geology of the Hudson Bay lowlands (Operation Winisk). — Geol. Surv. Can., Paper no. 67-60, 45 p.
- SIMS, R.A., J.L. RILEY & J.K. JEGLUM, 1979. Vegetation, flora and vegetational ecology of the Hudson Bay lowland: a literature review and annotated bibliography. — Can. Dept. Environment, Can. Forestry Service, Rep. no. 0-297, 177 p.
- SJÖRS, H., 1961. Forest and peatland at Hawley Lake, northern Ontario. — Bull. natn. Mus. Can., 171: 1-31.
- SJÖRS, H., 1963. Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario. — Bull. natn. Mus. Can., 186: 45-133.
- STOCKMARR, J., 1970. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. — Pollen Spores, 13: 615-621.
- SWAIN, F.M., 1956. Stratigraphy of lake deposits in central and northern Minnesota. — Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 40: 600-653.
- TERASMAE, J. & T.W. ANDERSON, 1970. Hypsithermal range extension of white pine (*Pinus strobus* L.) in Québec, Canada. — Can. J. Earth Sci., 7: 406-413.
- TERASMAE, J. & O.L. HUGHES, 1960. A palynological and geological study of Pleistocene deposits in the James Bay lowlands, Ontario (42 N<sup>1</sup>/<sub>2</sub>). — Bull. geol. Surv. Can., 62: 1-15.
- WAGNER, F.J.E., 1967. Additional radiocarbon dates, Tyrrell Sea area. — Mar. Sediments, 3: 100-104.
- WEBBER, P.J., J.W. RICHARDSON & J.T. ANDREWS, 1970. Post-glacial uplift and substrate gage at Cape Henrietta Maria, south-eastern Hudson Bay, Canada. — Can. J. Earth Sci., 7: 317-325.
- WRIGHT, H.E. Jr., 1967. A square-rod piston sampler for lake sediments. — J. sedim. Petrol., 37: 975-976.

Cartographie et classification  
des terres  
*Mapping and ecological land  
classification*





## USE OF VEGETATIONAL PHYSIOGNOMY IN CLASSIFYING TREED PEATLANDS NEAR SOUTHERN JAMES BAY, ONTARIO

R. A. SIMS

*Great Lakes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service  
Department of the Environment, P.O. Box 490, Sault Ste. Marie, Ontario P6A 5M7*

D. W. COWELL and G. M. WICKWARE

*Lands Directorate, Ontario Region, Department of the Environment  
P.O. Box 5050, Burlington, Ontario L7R 4A6*

### Résumé

À partir de leur physiognomie végétale, on a classifié 43 places-échantillons situées dans des tourbières boisées de 1 à 45 km à l'intérieur des terres, au sud de la baie James, en trois catégories : tourbière minérotrophe boisée, marécage à conifères, et tourbière ombrotrophe boisée. La variabilité est analysée selon le type de végétation, les propriétés chimiques de l'eau, la profondeur de la nappe phréatique, l'épaisseur de la tourbe et la distance minimum de la côte. Afin de montrer les relations entre les types de végétation des trois catégories, les auteurs ont utilisé l'analyse des correspondances ; cependant, d'autres analyses ont démontré que l'on peut classifier les places-échantillons simplement à l'aide de certains paramètres de sols et d'eau.

### Abstract

On the basis of vegetational physiognomy, 43 sites occurring within 1-45 km of the southern James Bay coast were assigned to three classes of treed peatland : treed fen, conifer swamp and treed bog. Variability of the three classes is shown in relation to vegetation, groundwater chemistry, and depth to water level, peat thickness and minimum distance from coast. Detrended correspondence analysis was used to demonstrate vegetational relationships among the three classes but other analyses indicated that similar separations could be achieved with selected soil and water parameters.

### Introduction

Over 85% of the Hudson Bay lowland is wetland (Zoltai, 1973). Before an ecological survey (ELS) and mapping program were undertaken in Ontario's James Bay "coastal zone" (Cowell *et al.*, 1979; Wickware *et al.*, 1981, and Fig. 1), it was necessary to adopt an appropriate wetland classification. Wetland classifications have been developed which emphasize particular wetland features such as aerial appearance (Radforth, 1955, 1958; Hamelin, 1971), landform (Tarnocai, 1974), nutrient status (DuReitz, 1949; Sjörs, 1952, 1961, 1963) or vegetational physiognomy (Jeglum *et al.*, 1974; Zoltai *et al.*, 1974). The ELS required a wetland classification that readily lent itself to remote sensing studies, including air photo interpretation and mapping at several scales. Yet because

the ELS attempted to integrate attributes of vegetation, soils and general environment it was desirable that the classification be ecologically based. A classification based mainly on aerial appearance, such as Radforth's 'airform patterns' (Radforth, 1955, 1958), was undesirable. Likewise, a classification that involved determination on the ground of plant species that indicate minerotrophy (*cf.* Sjörs, 1961) was not workable.

Vegetational physiognomy was used to assign 43 peatland sites with coniferous overstoreys to three classes: treed fen, conifer swamp and treed bog. The classes were subsequently applied in a 1:100,000 scale mapping program of a 3,760 km<sup>2</sup> study area (Cowell *et al.*, 1979). The purpose of this paper is to show that these physiognomically based classification units reflect other environ-

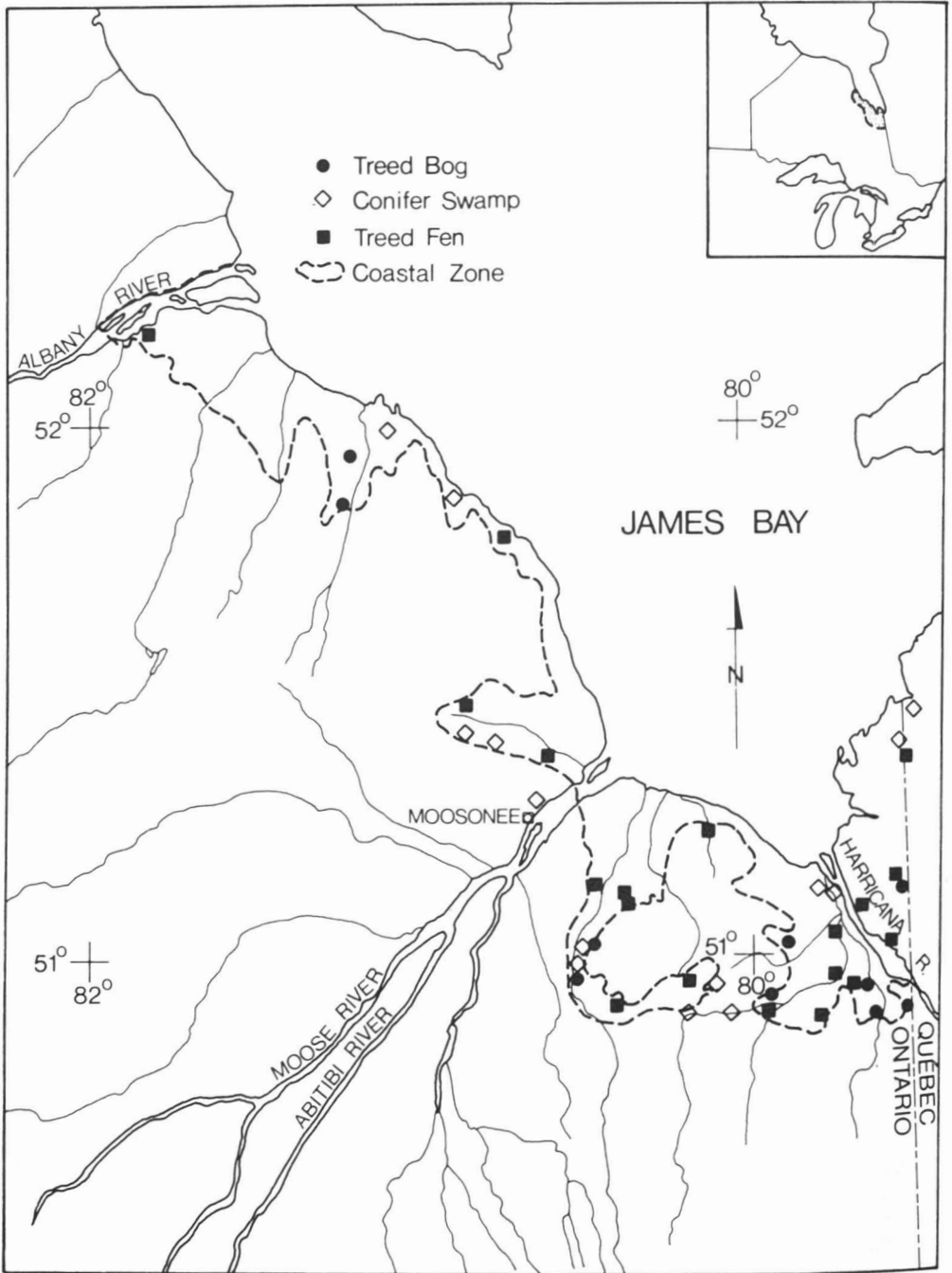


Figure 1. Map of the coastal zone of southern James Bay showing the location of 43 treed peatland sites.

mental factors. The general study area has been described elsewhere (Sims *et al.*, in press).

The three treed peatland classes were derived from a hierarchical wetland classification originally developed for the northern Clay Belt of Ontario (Table I) (Jeglum *et al.*, 1974). That classification had previously been shown to be particularly suitable for northern wetland mapping (Jeglum & Boissonneau, 1977). Treed fen is characterized by low, depauperate and often widely spaced tamarack [*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch] with canopy cover of at least 10%. The understorey is sedge- or grass-rich, with low to medium shrubs, mainly *Betula pumila* L. var. *glandulifera* Regel, *Alnus rugosa* (Du Roi) Spreng., and *Salix pedicellaris* Pursh, sometimes abundant. The standing water table is at or very near the surface and the surface peats are mesic (Jeglum *et al.*, 1974; Sims *et al.*, in press). Conifer swamp, usually with black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) dominant, has better conifer growth than the other two peatland classes. In the southern James Bay area along low river levees, the trees often achieve merchantable volumes,

but the stands are scattered and confined to narrow riverside strips (Sims *et al.*, 1979). There may be a shrub understorey and the ground layer is sedge- and herb-rich. Feather-mosses (*Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G., *Pleurozium schreberi* [Brid.] Mitt.) and *Sphagnum* spp. over fibric or moderately decomposed peats occur and there is often an abundance of open water pools and raised hummocks, indications of a fluctuating water table. Treed bog is ombrotrophic, receiving its nutrient inputs solely from precipitation and airborne fallout. There are low *Picea mariana* of unmerchantable quality and there may be an understorey of ericaceous shrubs and a hummocky *Sphagnum* spp. layer, particularly *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. The site is often dry at the surface, despite peat accumulations of at least 0.5 m.

### Materials and methods

#### VEGETATIONAL PHYSIOGNOMY AND COVER

Forty-three sites (Fig. 1) were randomly selected within mapping units delineated on

TABLE I

Physiognomic criteria used to assign sites to the three treed peatland classes

<i>Treed fen</i>	<i>Conifer swamp</i>	<i>Treed bog</i>
Not associated with river or stream drainageways	Occurring near or along rivers and streams	Associated often with slightly drier and raised conditions
Often forming extensive uniform tracts	Often elongated features paralleling watercourses	Variable and often irregular in outline
Tamarack dominant, regularly but widely spaced ( $\geq 10\%$ cover)	Usually black spruce dominant, mature trees of merchantable size, often over 4 m high and cover usually much greater than 10%	Black spruce dominant, trees of unmerchantable size, often under 3 m high and widely spaced ( $\geq 10\%$ )
Graminoid (often tussocky sedge) or broadleaf low shrub cover	Graminoid, broadleaf low shrub or (well-developed) ericaceous low shrub cover	Poorly to well-developed ericaceous low shrub cover
Flat or rolling microtopography; hummocks, if present, are occasional	Ground surface uneven, but sometimes without well-formed hummocks	Hummocky surface of mainly sphagnum
Variously colored moss layer — black and brown semi-aquatic mosses, carpet-like yellow or green moss, bright or dark green, red or brown sphagnum	Bright or dark green feather-mosses, red and brown sphagnum	Brown sphagnum, patches of white ground lichen near or on hummock crests
Standing water in pools, water table at or near surface	Standing water common in pools, channels, and depressions	Standing water occasionally found in deeper depressions among hummocks

1 : 60,000 black and white aerial photographs (Cowell *et al.*, 1979). In the field, each site was assigned to one of the three classes on the basis of vegetational physiognomy (Table I). Vegetational cover was estimated in three to eight 1 m<sup>2</sup> quadrats for each site for a total of 246 quadrats, with 12 cover classes (Table I). Other plant species present in the immediate vicinity were recorded. Voucher specimens are deposited in the Great Lakes Forest Research Centre herbarium (SSMF). Nomenclature follows Porsild & Cody (1980) for the vascular plants, Ireland & Cain (1975) for the mosses, and Hale & Culberson (1970) for the lichens.

Vegetational cover was averaged by sites, tabled and ordinated by detrended correspondence analysis according to the Cornell Ecology Program DECORANA (Hill, 1979). DECORANA executes a reciprocal averaging algorithm (Hill, 1973) that is modified to avoid quadratic relations of the second axis to the first, and thereby minimizes 'arch effect' (Gauch *et al.*, 1977).

#### SOIL AND WATER PARAMETERS

Groundwater was found within 1 m of the surface at all 43 sites. Water samples were collected from soil pits at sites, refrigerated within 8 h and later analyzed for Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>--</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mn<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, total Kjeldahl N, total P and soluble Si according to standard methods (Anonymous, 1978). Peat thickness, depth to water level, pH and specific conductance of water were recorded in soil pits at the time of sampling. A measure of the minimum linear distance of sites from the coast was included as a parameter because coastal isostasy in the area has an obvious pervasive influence on the vegetational succession of the area. Summary statistics were calculated and a linear discriminant function analysis (Dixon, 1971) ranked the variables that best described the *a priori* classes in descending order of importance. The program also generates probability groups of the same structure as the original input and carries out a canonical minimum variance cluster analysis of sites (Dixon, 1971).

### Results and discussion

#### VEGETATIONAL PHYSIOGNOMY AND COVER

Of the 43 sites, 19 were classed as treed fen, 14 as conifer swamp and 10 as treed

bog, but this does not reflect their relative abundance in the study area. Treed fen was considerably more abundant, but such sites were not examined in proportion to their occurrence in order to get better representation of other peatland types. The classification presented few difficulties when applied in the field. Sites were encountered that contained features of more than one class, but prevailing characteristics outlined in Table I were used ultimately to assign sites to classes. The classification became easier to apply during field work as familiarity with site variability throughout the study area increased. In addition to the sites included in the analyses, four sites were examined where water was not encountered within 1 m of the surface. These sites were among the most difficult to assign physiognomically in the field to either conifer swamp or treed bog.

Of the 84 taxa encountered at two or more sites (Table II), only 30 are common to all three classes. Numbers of taxa were highest for the conifer swamp class (72) and lowest for treed bog (41). This difference would have been greater had taxa occurring at one site only been included. About two-thirds of the taxa (56) were common to both treed fen and conifer swamp, fewer than half (36) were common to conifer swamp and treed bog, and one-third (28) were common to treed fen and treed bog (Table II).

When sites were ordinated, they were placed with little overlap into three clusters (Fig. 2a) that corresponded to the original field classification. This is not surprising since vegetational physiognomy may be considered as a coarse estimate of vegetational cover. In ordination results, the relative distances between sites may be used as measures of dissimilarity. Hence, the species-poor ombrotrophic treed bog group is relatively discrete, while the other two groups are more dispersed.

Sjörs published descriptive papers on some Hudson Bay lowland peatlands (1961, 1963), and in classifying the peatlands, he identified 'indicator species' which reflected prevailing levels of minerotrophy. It was possible, for example, to classify fens into poor, moderate, rich and very rich minerotrophic classes. While this approach was ecologically based, it did not lend itself to air photo interpretation.

TABLE II

Cover-abundance data summarized for taxa occurring at two or more sites. Mean cover-class is the first value given for those species recorded in quadrats ( $p < 1\%$ , + = 1-5%, 1 = 6-15%, 2 = 16-25%..... 9 = 86-95%, 10 = 96-100%) or outside quadrats (- = present at site). Values in brackets are percent presence of species for each treed peatland class

	Treed fen	Conifer swamp	Treed bog
<b>Trees and woody shrubs</b>			
<i>Alnus rugosa</i>	+ ( 11)	1 (86)	
<i>Andromeda glaucophylla</i>	+ ( 74)	p (29)	p ( 10)
<i>Betula pumila</i> var. <i>glandulifera</i>	2 (100)	+ (36)	
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	1 ( 89)	1 (29)	1 ( 80)
<i>Empetrum nigrum</i> ssp. <i>hermaphroditum</i>	p ( 21)	p (21)	p ( 60)
<i>Gaultheria hispidula</i>	p ( 21)	p (36)	p ( 40)
<i>Kalmia polifolia</i>	p ( 32)	p (21)	+ ( 80)
<i>Ledum groenlandicum</i>	+ ( 53)	1 (71)	3 (100)
<i>Larix laricina</i>	3 (100)	1 (79)	
<i>Linnaea borealis</i>		p (36)	
<i>Myrica gale</i>	+ ( 21)	+ (43)	
<i>Oxycoccus microcarpus</i>	p ( 79)	p (71)	p ( 80)
<i>Picea mariana</i>	+ ( 47)	3 (93)	3 (100)
<i>Potentilla fruticosa</i>	+ ( 11)	p (14)	
<i>Ribes triste</i>		+ (29)	
<i>Rosa acaulis</i>		p ( 7)	
<i>Salix pedicellaris</i>	p ( 37)	p ( 7)	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> var. <i>minus</i>	- ( 5)	+ (43)	+ ( 40)
<b>Herbs</b>			
<i>Cornus canadensis</i>		+ (36)	
<i>Coptis trifolia</i>	- ( 5)	p (21)	
<i>Drosera anglica</i>	p ( 16)		
<i>D. rotundifolia</i>	p ( 68)	p (29)	p ( 40)
<i>Epilobium palustre</i>	p ( 47)	p (14)	
<i>Equisetum arvense</i>		p (50)	p ( 30)
<i>E. fluviatile</i>	+ ( 89)	+ (43)	p ( 10)
<i>Galium labradoricum</i>	p ( 53)	p (43)	
<i>Geocaulon lividum</i>		p (29)	
<i>Habenaria dilatata</i>	p ( 32)	- ( 7)	
<i>Menyanthes trifoliata</i>	1 ( 84)		
<i>Mitella nuda</i>	p ( 11)	p (50)	
<i>Pedicularis groenlandica</i>	p ( 11)	-	
<i>Potentilla palustris</i>	+ ( 47)	p (36)	
<i>Ranunculus lapponicus</i>		p (50)	
<i>Rubus acaulis</i>	+ ( 47)	+ (86)	
<i>R. chamaemorus</i>		p (29)	1 (100)
<i>Sarracenia purpurea</i>	p ( 21)		
<i>Scheuchzeria palustris</i> var. <i>americana</i>	p ( 21)		+ ( 90)
<i>Smilacina trifolia</i>	+ ( 68)	1 (100)	
<i>Stellaria</i> spp.	p ( 11)	p (14)	
<i>Trientalis borealis</i>	p ( 11)	p (29)	
<i>Triglochin maritimum</i>	p ( 47)		
<i>Viola</i> spp.	p ( 11)	p (29)	
<b>Graminoids</b>			
<i>Carex aquatilis</i>	p ( 47)	p (36)	p ( 10)
<i>C. chordorrhiza</i>	+ ( 74)	p (21)	
<i>C. diandra</i>	p ( 21)	p (21)	- ( 10)
<i>C. disperma</i>		+ (43)	+ ( 20)
<i>C. exilis</i>	p ( 21)	p ( 7)	- ( 10)
<i>C. gynocrates</i>	p ( 5)	- (14)	
<i>C. leptalea</i>	p ( 21)	+ (50)	

TABLE II (continued)

	Treed fen	Conifer swamp	Treed bog
<i>C. limosa</i>	1 ( 89)	- ( 7)	
<i>C. pauciflora</i>	p ( 16)	- (14)	p ( 40)
<i>C. paupercula</i>	p ( 16)	p (14)	p ( 10)
<i>C. vaginata</i>		- (36)	
<i>Deschampsia caespitosa</i>	p ( 32)	p ( 7)	
<i>Eriophorum vaginatum</i> ssp. <i>spissum</i>			+ ( 60)
<i>E. viridi-carinatum</i>	p ( 16)	- ( 7)	
<i>Glyceria striata</i>		p (36)	
<i>Muhlenbergia glomerata</i>	p ( 26)		- ( 10)
<i>Scirpus caespitosus</i>			p ( 40)
<i>S. hudsonianus</i>	+ ( 53)		p ( 10)
<b>Bryophytes &amp; lichens</b>			
<i>Aulacomnium palustre</i>	- ( 68)	p (43)	
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	p ( 16)	p (29)	
<i>Campylium stellatum</i>	+ ( 26)	p (14)	
<i>Cinclidium stygium</i>	p ( 5)	- (47)	
<i>Cladonia</i> spp.	p ( 16)	- (71)	2 (100)
<i>Dicranum polysetum</i>	p ( 11)	+ (42)	p ( 30)
<i>Drepanocladus</i> spp.	+ ( 63)	+ (26)	- ( 10)
<i>Hylocomium splendens</i>	- ( 5)	1 (86)	- ( 10)
<i>Isomadophila ericetorum</i>		- ( 5)	p ( 60)
<i>Mylia anomala</i>			p ( 70)
<i>Paludella squarrosa</i>	p ( 21)	p (21)	
<i>Pleurozium schreberi</i>	- ( 16)	1 (47)	1 ( 80)
<i>Pohlia nutans</i>		p (11)	- ( 10)
<i>Polytrichum strictum</i>	- ( 5)	p (16)	p ( 10)
<i>Ptilidium ciliare</i>		p (16)	p ( 20)
<i>Rhytidialephus triquetra</i>		+ (21)	
<i>Scorpidium scorpioides</i>	+ ( 16)		
<i>Sphagnum fallax</i> var. <i>angustifolium</i>	+ ( 16)	+ (21)	p ( 10)
<i>S. fuscum</i>	p ( 11)	+ (26)	5 (100)
<i>S. magellanicum</i>	+ ( 16)	+ (21)	p ( 40)
<i>S. riparium</i>	1 ( 37)	p (14)	- ( 10)
<i>S. rubellum</i>	+ ( 21)	- (14)	1 ( 80)
<i>S. warnstorffii</i>	2 ( 84)	2 (79)	+ ( 20)
<i>Tomenthypnum nitens</i>	+ ( 53)	+ (21)	p ( 10)

It is possible to demonstrate certain similarities between Sjör's 'indicator species' approach and that of the present study. *Menyanthes trifoliata* L. is a sensitive indicator of low to moderate levels of minerotrophy and is associated with standing water (Sjör, 1961, 1963). Its occurrence is restricted to treed fen sites (Fig. 2b) where both these criteria are met. *Sphagnum warnstorffii* Russow is an indicator of moderate to high levels of minerotrophy (Sjör, 1961). Apparently an ubiquitous species in the southern James Bay coastal zone (Sims *et al.*, in press) and common in the Attawapiskat area (Sjör, 1961), it is absent from most ombrotrophic treed bog sites (Fig. 2c). Conversely, *Rubus chamaemorus* L. is present where ombrotrophic conditions exist, and its occur-

rence is correlated with that of treed bog, and in isolated instances with that of hummock tops that are perhaps ombrotrophic in conifer swamp sites (Fig. 2d).

#### SOIL AND WATER PARAMETERS

The soil and water parameters were analyzed independently of the vegetational cover data. Summary statistics on the 16 parameters indicate that no single parameter nor small group of parameters significantly separates the three classes (Table III). Relatively high standard deviations of chemical parameters in particular make this task difficult. Depth to water level and groundwater pH were ranked by linear discriminant function analysis as the first and third best

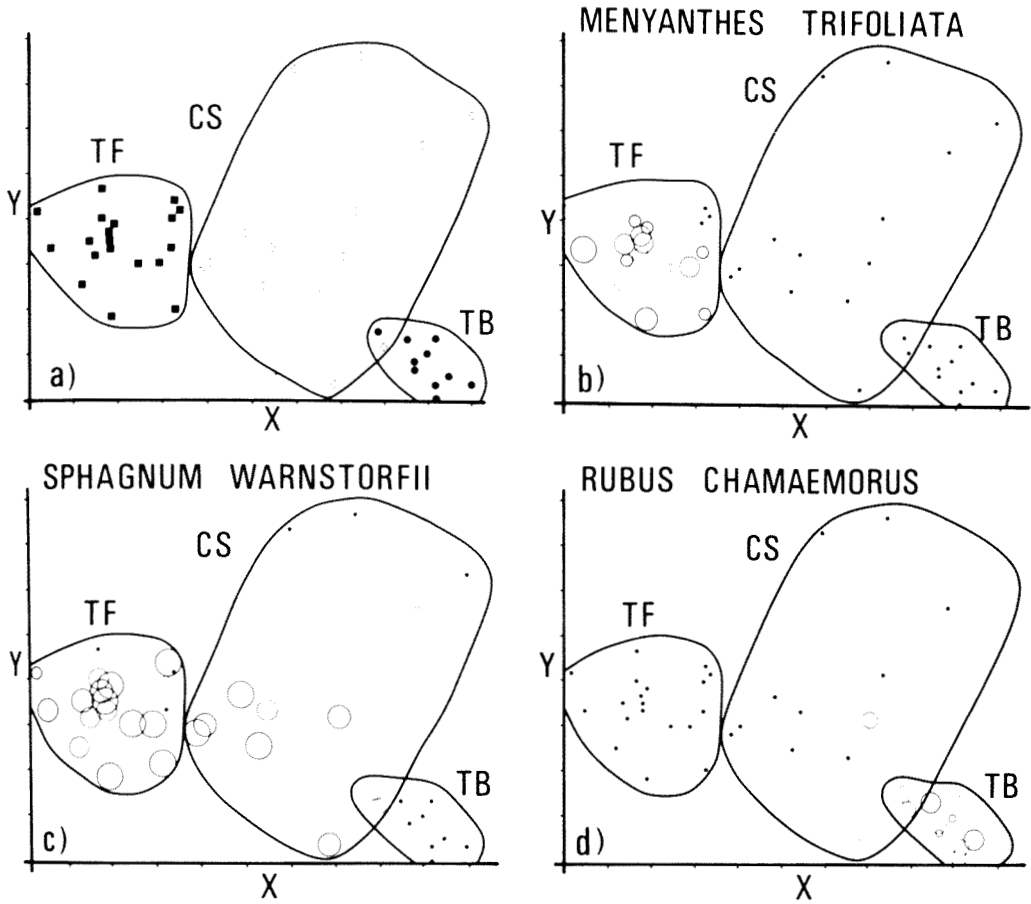


Figure 2. a) Detrended correspondence analysis ordination (first two axes) of the sites based on vegetational cover. Symbols as in Figure 1, with TF, CS and TB indicating treed fen, conifer swamp and treed bog clusters. b). c). d) Importance of three plant species plotted over site position on the two-dimensional ordination. A solid dot indicates absence at the site. Circle sizes indicate five classes of percent cover, from smallest to largest: 1  $\leq$  0.5%, 2 = 0.51 - 1%, 3 = 1.1 - 10%, 4 = 10.1 - 50%, 5 > 50%.

discriminators of the three classes (Table III). Plotted in two-dimensional space, these two parameters do not give clear separations (Fig. 3). Treed bog clearly separates but assignment of sites in the area in which treed fen and conifer swamp overlap would not be possible.

The linear discriminant function analysis regroups the sites into the *a priori* number of classes on the basis of the information content of the 16 soil and water parameters. The results show 93% correct reassignment into the *a priori* groups; all 19 treed fen sites, and 12 of 14 conifer swamp sites, and 9 of 10 treed bog sites regrouped correctly (Fig. 4). A canonical minimum variance ordination (Fig. 5) shows separation of the

three classes in a manner similar to that of the vegetational ordination (Fig. 2a). Although the two ordination techniques are not directly comparable, the soil and water parameter ordination, unlike the vegetational ordination, shows dissimilarity within all three groupings including treed bog. Some overlap occurs between the treed fen and conifer swamp groups, and between conifer swamp and treed bog.

### Conclusion

Forty-three treed peatland sites were assigned among three classes by means of a classification based on vegetation physiognomy applied in the field. The classification

TABLE III

Means, standard deviations and linear discriminant function analysis rankings for soil and water parameters

Soil and water parameters	Treed fen (19) X (±SD)	Conifer swamp (14) X (±SD)	Treed bog (10) X (±SD)	LDF ranking
Distance from coast (km)	27 (11)	24 (15)	26 ( 9)	8
Peat depth (cm)	126 (45)	79 (26)	120 (61)	9
Depth to water level (cm)	16 ( 3)	24 (18)	29 ( 5)	1
Groundwater pH	5.7 ( 0.7)	6.0 (16)	4.2 (1.0)	3
Specific conductance (µmhos)*	67 (48)	126 (103)	50 (19)	5
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	10.4 (10.9)	21.7 (14.3)	4.9 (5.7)	10
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	1.8 ( 1.8)	5.2 ( 4.4)	0.8 (0.8)	2
Na <sup>+</sup> (mg/l)	4.5 ( 3.8)	10.2 (10.3)	1.8 (1.4)	12
K <sup>+</sup> (mg/l)	1.8 (16)	1.6 ( 0.9)	1.3 (0.5)	6
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	2.8 ( 1.7)	3.2 ( 1.9)	6.7 (3.9)	11
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	8.1 ( 6.3)	18.4 (18.8)	5.1 (1.9)	15
Fe <sup>++</sup> (mg/l)	14.9 (34.3)	11.3 (18.6)	2.0 (3.0)	14
Mn <sup>+</sup> (mg/l)	0.3 ( 0.2)	0.7 ( 0.9)	0.2 (0.2)	7
Total Kjeldahl N (mg/l)	1.2 ( 0.6)	1.2 ( 0.6)	1.2 (0.4)	16
Total P (mg/l)	0.3 ( 0.2)	0.4 ( 0.3)	0.4 (0.2)	4
Soluble Si (mg/l)	1.3 ( 1.4)	2.7 ( 2.0)	1.5 (0.6)	13

\* at 25° C, corrected for H<sup>+</sup>

proved easy to apply during field investigations for an ecological land survey. Occurrence of three distinct groupings in a two-dimensional ordination of vegetational cover agreed with the field classification. By overlaying percent cover values for selected indicator species (*Menyanthes trifoliata*, *Sphagnum warnstorffii* and *Rubus chamaemorus*) on the vegetational ordination, it was shown that relationships could be drawn between a plant 'indicator species' approach and the physiognomic approach. When selected soil and water parameters were separately analyzed, it was possible to dupli-

	TF	CS	TB
TF	19	0	0
CS	1	12	1
TB	0	1	9

Figure 4. Recombination matrix for the linear discriminant function analysis.

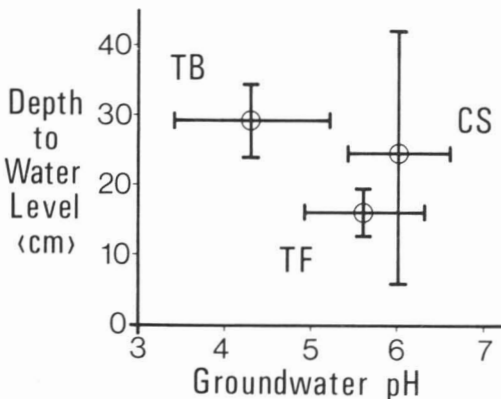


Figure 3. Means and standard deviations for treed fen (TF), conifer swamp (CS) and treed bog (TB) plotted on the pH and depth to water level space.

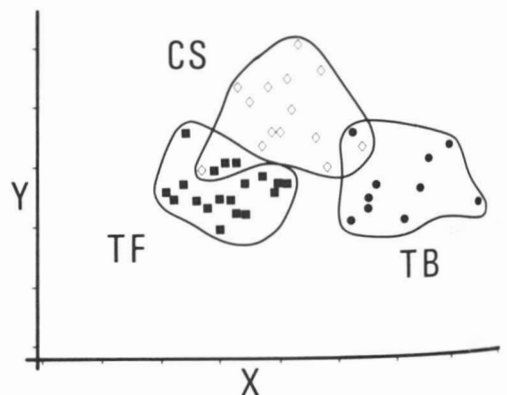


Figure 5. Canonical variate analysis based on the 16 soil and water parameters. Symbols as in Figure 1.



cate the vegetational classes. For these sites, the classification, though based on physiognomy, reflects other ecosystemic factors.

### Acknowledgments

We thank M. Siltanen, Y. Desjardins, and L. Falkner for help in the field and laboratory, J. Riley and R. Ireland for assistance in identifying plants, and two anonymous reviewers for commenting on the manuscript.

### References

- ANONYMOUS, 1978. Analytical methods manual. — Dept. Environ., Inland Waters Dir., Water Quality Br., Ottawa, Ont.
- COWELL, D.W., G.M. WICKWARE & R.A. SIMS, 1979. Ecological land classification of the Hudson Bay lowland coastal zone, Ontario. — Pages 165-175 in C.D.A. Rubec (ed.). Proc. 2<sup>nd</sup> Can. Comm. Ecol. Land Classif., Lands Dir. ELC Ser. no. 7, Dept. Environ., Ottawa, 396 p.
- DIXON, W.J. (ed.), 1971. BMD. Biomedical computer programs. — Univ. Calif., Berkeley, Publ. Auto. Comp. no. 2, University of Calif. Press, p. 214a-214f.
- DURIETZ, G.E., 1949. Huvudenheter och hurudgränser i svensk myrvegetation. — Svensk bot. Tidskr., 43(2/3): 274-309.
- GAUCH, H.G., R.H. WHITTAKER & T.R. WENTWORTH, 1977. A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. — J. Ecol., 65: 157-174.
- HALE, M.E. Jr. & W.L. CULBERSON, 1970. A fourth checklist of the lichens of the continental United States and Canada. — Bryologist, 73: 499-543.
- HAMELIN, L.E., 1971. De Winnipeg au Keewatin. L'excursion de l'A.C.G. — Revue Géogr., Montréal, 25: 89-94.
- HILL, M.O., 1973. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. — J. Ecol., 61: 237-249.
- HILL, M.O., 1979. DECORANA, a Fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. — Ecology and systematics, Cornell Univ., Ithaca, N.Y., 52 p.
- IRELAND, R.R. & R.F. CAIN, 1975. Checklist of the mosses of Ontario. — Natn. Mus. nat. Sci., Ottawa, Ontario, Publ. Bot. no. 5, 67 p.
- JEGLUM, J.K. & A.N. BOISSONNEAU, 1977. Air photo interpretation of wetlands, northern Clay Section, Ontario. — Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Report no. 0-X-269, 44 p.
- JEGLUM, J.K., A.N. BOISSONNEAU & V.F. HAAVISTO, 1974. Toward a wetland classification for Ontario. — Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Inf. Rep. no. 0-X-215, 54 p.
- PORSILD, A.E. & W.J. CODY, 1980. Vascular plants of the continental Northwest Territories, Canada. — Natn. Mus. nat. Sci., Ottawa, Ontario, 667 p.
- RADFORTH, N.W., 1955. Organic terrain organization from the air (altitudes less than 1000 feet). Handbook no. 1 — Dept. natn. Def., Def. Res. Bd., Ottawa, Ontario, DR no. 95, 49 p.
- RADFORTH, N.W., 1958. Organic terrain organization from the air (altitudes 1000 to 5000 feet). Handbook no. 2. — Dept. natn. Def., Def. Res. Bd., Ottawa, Ontario, DR no. 124, 24 p.
- SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE (in press). Classification of fens near southern James Bay, Ontario using vegetational physiognomy. — Can. J. Bot.
- SIMS, R.A., J.L. RILEY & J.K. JEGLUM, 1979. Vegetation, flora and vegetational ecology of the Hudson Bay lowland: a literature review and annotated bibliography. — Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Report, no. 0-X-297, 177 p.
- SJÖRS, H., 1952. On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. — Oikos, 2 (1950): 241-258.
- SJÖRS, H., 1961. Forest and peatland at Hawley Lake, northern Ontario. — Bull. natn. Mus. Can., 171: 1-31.
- SJÖRS, H., 1963. Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario. — Bull. natn. Mus. Can., 186: 45-133.
- TARNOCAI, C., 1974. Peat landform and associated vegetation in Manitoba. — Pages 3-21 in J.H. Day (ed.). Proc. Can. Soil Surv. Comm., Org. Soil Mapping Workshop. Soil Res. Inst., Ottawa, Ont., 98 p.
- WICKWARE, G.M., D.W. COWELL & R.A. SIMS, 1981. Peat resources of the Hudson Bay lowland coastal zone. — Pages 138-143 in Proc. VI int. Peat Congr., Duluth, Minn., Aug. 18-21, 1980, 613 p.
- ZOLTAI, S.C., 1973. Vegetation, surficial deposits and permafrost relationships in the Hudson Bay lowland. — Pages 17-34 in Proc. Symp. on Physical Environ. Hudson Bay lowland, Univ. Guelph, Ontario, 125 p.
- ZOLTAI, S.C., F.C. POLLETT, J.K. JEGLUM & G.D. ADAM, 1974. Developing a wetland classification for Canada — Pages 497-511 in B. Bernier & C.H. Winget (eds.). Proc. 4th North Am. For. Soils Conf., Québec City, Aug. 1973, 675 p.



## WETLAND ECOSYSTEMS NEAR KINOJE LAKES, SOUTHERN INTERIOR HUDSON BAY LOWLAND

J.K. JEGLUM

*Department of the Environment, Canadian Forestry Service  
Great Lakes Forest Research Centre, P.O. Box 490  
Sault Ste. Marie, Ontario P6A 5M7*

and

D.W. COWELL

*Department of the Environment, Lands Directorate  
Ontario Region, P.O. Box 5050, Burlington, Ontario L7R 4A6*

### Résumé

Les auteurs ont inventorié 61 places-échantillons de terrains humides (principalement dans des tourbières) près des lacs Kinoje, à environ 85 km O.N.O. de Moosonee, Ontario. La composition floristique, la physiographie et les propriétés physico-chimiques du sol et de l'eau furent échantillonnées. Tout d'abord, on a classifié les places-échantillons selon leur physionomie végétale et les espèces dominantes, puis les types ont été reclassifiés selon le pH et le calcium de l'eau du sol, et la pente du sol par rapport aux rivières adjacentes et aux lacs. Les types « d'écosystèmes » qui en résultent ont été reliés selon la répartition du pH et de la nappe phréatique. Les relations écologiques des types sont classifiées à l'aide d'un modèle environnemental bi-dimensionnel.

### Abstract

In an intensive, cooperative ecological-land survey project, 61 wetland (mostly peatland) sites were surveyed near the Kinoje Lakes, about 85 km WNW of Moosonee, Ontario. Detailed information was collected for each site on vegetational structure and floristics, physiography, and physical and chemical attributes of peat and water samples. The sites were classified initially by vegetational physiognomy and dominance, but the types were subsequently modified by information on groundwater pH and calcium, and position in landscape relative to flooding by adjacent rivers or flowage lakes. The resulting 'ecosystem' types were related in terms of their distribution among trophic-pH classes, and classes of depth-to-water. The ecological relationships of the types are classified with a two-dimensional environmental ordination.

### Introduction

In 1976, during the first field season of a program undertaken by various agencies of the federal Department of the Environment to collect baseline data on the Hudson Bay lowland (HBL), an intensive, two-week survey was conducted in an area near the Kinoje Lakes, about 85 km WNW of Moosonee, Ontario (Fig. 1). Biologists who had been studying the nesting ecology and population dynamics of Canada geese in this 412 km<sup>2</sup> area (Raveling & Lumsden, 1977) suggested

that a study of wetlands would be very useful. The purpose of this paper is to describe the wetland ecosystems sampled during the survey, in terms of vegetation and habitat.

### Study area

The area is in the interior HBL, and peatland development has yielded an abundance of fens and raised bogs. However, swamps and marshes are also present, as well as

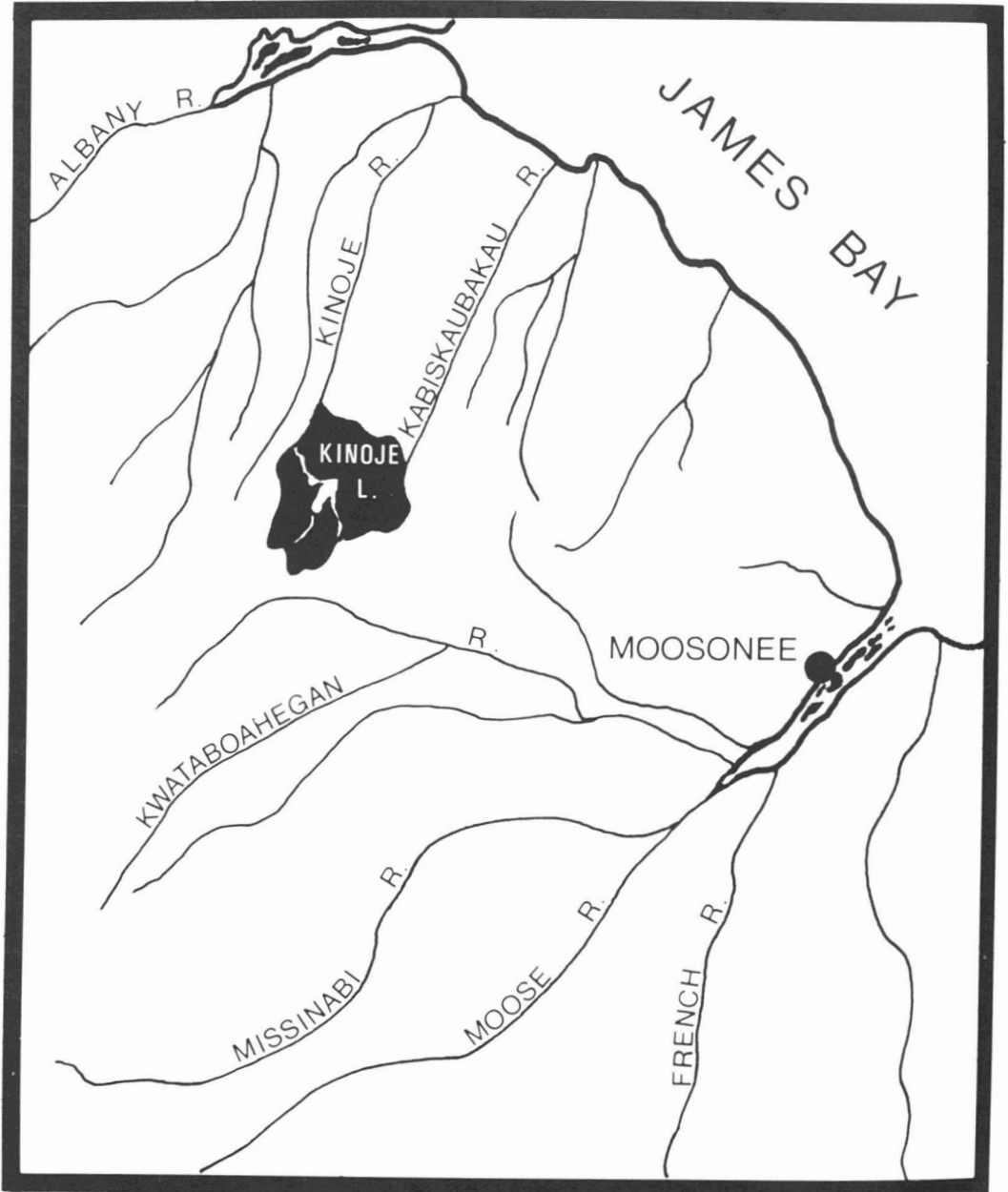


Figure 1. Location of the study area, 85 km WNW of Moosonee, Ontario.

mineral soil uplands associated with the banks of the larger lakes, levees of rivers and streams, and old beach ridges. The area is just above the 60 m ASL contour, and occurs in a 'till plateau' area with relatively irregular drainage patterns (Pala & Weischet, 1982). The main drainage out of the area is NNE (James Bay), but there is also some drainage SE (Moose River). The

area is just to the north of the  $-1^{\circ}\text{C}$  mean daily isotherm (Chapman & Thomas, 1968), considered by Brown (1967) to coincide with the southern limit of discontinuous permafrost. Mean annual precipitation is approximately 762 mm. Studies dealing specifically with this area are those of Raveling & Lumsden (1977) on the nesting ecology of Canada geese, Cowell *et al.* (1978) on

the relationship of vegetative cover to the preservation of seasonal frost in peatlands, and Martini *et al.* (1980) on geomorphology and paludification history. Other key studies of wetland ecology from northern Ontario that are closely related to this one are those of Sjörs (1961, 1963) and Jeglum *et al.* (1974). A thorough review of literature on the vegetational ecology and floristics of the HBL has been published (Sims *et al.*, 1979).

### Methods

From 1 to 10 August 1976, and again from 12 to 14 July 1977, a helicopter-supported survey was conducted in the Kinoje Lakes area, and also en route between Moosonee and the Kinoje area. Photographs (1:58,000 scale) for the Kinoje area were pre-typed, and landing sites were chosen such that a number of different types would be accessible on foot. Ten landing sites in the Kinoje area, and five between Moosonee and Kinoje were visited. One to several stand samples were collected at each. Each stand represented a relatively uniform sample of vegetation and underlying peat occurring in a uniform microtopographic position, such as flat moss mats invading pools, sedge mats, and the high ridge phase in bog or fen. A total of 61 wetland stands were sampled.

For each stand, two to five 0.5 m × 2 m quadrats were placed to represent the vegetational variation. Cover estimates were taken for each plant species according to the following scale: p = 1%; + = 1 to 5%; 1 = 5 to 15%; 2 = 15 to 25% ...; 10 = 95 to 100%. An attempt was made to collect all unknowns for later identification. Nomenclature and author citations for vascular plants follow Scoggan (1978/1979); for mosses, Ireland *et al.* (1980); for liverworts, Stotler & Crandall-Stotler (1977); and for lichens, Hale & Culbertson (1970).

Cover estimates were also given for structural characteristics, the categories of which were defined by a matrix with eight height categories on one axis and 12 vegetational lifeform or ground condition categories on the other axis (adapted from Kuchler, 1967).

Environmental data included a description of physiographic location, disturbance, and ground surface condition. A minimum of three measurements of depth to water table and peat depth were made for each stand.

Where the ground surface was uneven, measurements were taken from the high and low level, and averaged, at each of three locations. At each stand a pit was dug to the groundwater. Groundwater pH was determined in the field with a Metrohm portable pH meter. Peat pH, decomposition ratings, and samples were taken within standard depth intervals of 0-20 and 20-40 cm. Decomposition ratings were according to the von Post system (1 to 10, Canada Soil Survey Committee, Subcommittee on Soil Classification, 1978).

Water samples were taken in 1 litre polyethylene bottles from the pit as soon as water was reached. The bottles had been pre-washed with distilled water and were rinsed with sample water prior to sampling. Calcium was analyzed by atomic absorption spectroscopy (Anonymous, 1979).

Each stand was classified in the field according to the wetland classification of Jeglum *et al.* (1974) and Jeglum & Boissonneau (1977). During subsequent tabular analysis, some stands were reallocated to obtain units which were more homogeneous vegetationally *and* environmentally. We followed the practice of Sjörs (1961, 1963) in equating bog with ombrotrophic. In order to qualify as a bog type, the groundwater for a stand must have had a Ca concentration less than 2.0 mg/l (*cf.* Gorham & Pearsall, 1956). If Ca concentrations were greater than this, the stand was minerotrophic, and classified as a type of fen, swamp, or marsh. In the subdivision of bog types, depth to water table was the primary criterion used to segregate stands into BOG POOL MOSS MAT, and SPHAGNUM + GRAMINOID BOG. The former type had moss mats floating just at or slightly above the water, whereas the latter had water levels between 5 and 20 cm beneath the surface [*cf.* 'flark level' and 'intermediate level', Eurola & Kaakinen (1978)]. For the MARSH type, an important criterion was frequent flooding by mineral-enriched waters from adjacent streams and flowage lakes. Thus, although the primary basis of the classification was vegetation, particularly its physiognomy and dominant species, environmental attributes were used to refine the classification.

### Results

The descriptions of ecosystems that follow are based on the tabular summaries

TABLE I

Vegetational and physiognomic characteristics for the ecosystem types. Means are based on the number of values summed.  
Ranges of included values are given below some of the means.

	<i>Ecosystem type</i>											
	<i>Sequence I</i>			<i>Sequence II</i>					<i>Sequence III</i>			
	<i>M</i>	<i>TS</i>	<i>CS</i>	<i>FPMM</i>	<i>GF</i>	<i>LSF</i>	<i>TaTF</i>	<i>CeTF</i>	<i>BPMM</i>	<i>SB+GB</i>	<i>LSB</i>	<i>LSTB</i>
No. of stands	2	2	5	6	9	7	5	4	5	4	8	4
Trees												
cover >2 m (%)	0	8	65	+	0	1	14	15	0	0	2	26
cover <2 m (%)	0-0	0-17	41-91	0-1	0-0	0-6	3-20	2-24	0-0	0-0	0-4	11-40
	0	1	15	1	1	5	12	37	0	1	34	17
	0-0	0-1	2-43	0-3	0-6	0-13	1-40	19-64	0-0	0-5	+ -84	2-40
Shrubs												
cover >2 m (%)	0	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cover <2 m (%)*	0-0	0-20	0-30	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
	0	98	30	4	5	32	53	43	8	15	48	67
	0-0	95-100	10-43	0-13	0-10	6-53	31-85	15-62	0-30	3-31	30-81	50-81
Forb & semi-shrub												
cover (%)	13	20	13	14	12	17	13	5	7	9	7	3
	1-25	4-35	1-38	3-53	4-31	6-44	7-22	2-8	1-18	5-16	2-34	+ -7
Graminoids												
live cover (%)	51	20	10	27	34	30	21	20	26	13	2	+
dead cover (%)	45-58	5-35	0-25	9-57	8-63	3-48	+ -40	9-41	+ -66	7-18	+ -7	0-+
	40	7	1	7	35	33	11	20	2	8	2	+
	0-80	1-13	0-3	0-20	0-60	0-100	0-30	10-30	0-10	1-20	1-4	0-1
Sphagnum												
cover (%)	3	0	+	14	9	28	29	60	47	89	44	28
	0-5	0-0	0-+	0-52	0-77	0-100	10-45	35-90	0-100	65-100	7-100	5-46
Other bryophyte												
cover (%)	+	6	55	75	27	23	29	6	32	10	10	32
	0-+	3-10	24-95	41-97	+ -85	0-100	2-61	+ -15	+ -100	0-25	0-30	2-83
Lichen cover (%)	0	0	9	0	0	+	1	+	1	+	27	27
Water cover	60	15	2	27	52	32	5	2	20	1	+	+
Mud and algal cover (%)	8	1	8	+	41	21	0	0	0	0	0	0
No. species/stand												
vascular	11	31	22	13	18	23	21	30	10	14	14	11
all bryophytes	2	4	5	3	3	3	7	7	3	4	5	6
lichen	0	0	2	0	0	+	1	+	1	1	4	4
all	12	35	28	16	21	27	29	37	14	18	23	21

+ Denotes means that are less than 0.5.

M - MARSH; TS - THICKET SWAMP; CS - CONIFER SWAMP; FPMM - FEN POOL MOSS MAT; GF - GRAMINOID FEN; LSF - LOW SHRUB FEN; TaTF - Tamarack TREED FEN; CeTF - Cedar TREED FEN; BPMM - BOG POOL MOSS MAT; SB+GB - SPHAGNUM BOG + GRAMINOID BOG; LSB - LOW SHRUB BOG; LSTB - LOW SHRUB TREED BOG.

for vegetational and other physiognomic attributes (Table I), environmental attributes (Table II), and species distributions among the types (Table III).

#### MARSH

This type consists of stands of relatively tall graminoids found as zones or patches along rivers and flowage lakes. Water level fluctuation is high, and wet periods alternate with droughts when ground surfaces may be exposed. A key factor influencing the type is frequent flooding of the ground surface by mineral-enriched waters of adjacent streams and flowage lakes. Our samples included a lakeside stand of emergents with a drawdown surface, and a meadow marsh with a partially floating, loosely consolidated peat mat along a river. Species peaking in this type included beaked sedge (*Carex rostrata*), marsh spike-rush (*Eleocharis palustris* s.l.), and marsh cinquefoil (*Potentilla palustris*).

#### THICKET SWAMP

This type is characterized by dominance of tall, clumped shrubs, including speckled alder (*Alnus rugosa*), glandular swamp birch (*Betula pumila* var. *glandulifera*), red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*), flat-leaved willow (*Salix planifolia*), and other willow species. The type is particularly rich in vascular species, which average 31 per stand. It may be found upslope from MARSH zones, as well as down-slope from CONIFER SWAMP. Water tables are quite variable, and there are sites with standing water as well as those with groundwater well below the surface. As with MARSH, THICKETS are influenced by occasional flooding by mineral-enriched waters of adjacent rivers or flowage lakes, or by fluctuating water levels of intermittent streams and flushed drainageways in which they also occur.

#### CONIFER SWAMP

This consists of minerotrophic wetland forests with moderately closed canopies. The main dominant is black spruce (*Picea mariana*), but white spruce (*P. glauca*) was dominant in one stand along a stream. Although balsam fir (*Abies balsamea*) was not a dominant in any of the stands sampled, it may occasionally achieve this status. The stands usually have frequent pools and channels, but on the average the type is less wet than THICKET. In fact, the groundwater

level is deeper, on average, than in any other type except LOW SHRUB TREED BOG. The type includes the whole range of very productive to marginally productive forests. Many of the 'black spruce islands' described by Sjörs (1961, 1963) are swamp types, and these are often associated with slight rises in the mineral soil topography beneath the peat blanket (Cowell *et al.* 1978). The most abundant mosses for the type are the feather mosses: stair-step moss (*Hylocomium splendens*) on richer sites and Schreber's feather moss (*Pleurozium schreberi*) on poorer sites. Dewberry (*Rubus pubescens*) and common fern moss (*Thuidium delicatulum*) achieve their highest mean covers here.

#### FEN POOL MOSS MAT

This type consists of floating moss mats on small pools in fens. The moss cover is greater than 50%, and the peat is derived mainly from brown moss dominants — primarily scorpion moss (*Scorpidium scorpioides*) and *Drepanocladus exannulatus*. Graminoids are present in varying amounts, reflecting the degree of development of this type toward GRAMINOID FEN. Buck-bean (*Menyanthes trifoliata*), beaked rush (*Rhynchospora alba*), tufted club-rush (*Scirpus cespitosus*), mud sedge (*Carex limosa*), and woolly-stemmed moss (*Tomentypnum nitens*) achieved highest mean cover values here. Although some stands are quite rich, the type also includes poorer stands, reflected by the presence of *Gymnocolea inflata*<sup>1</sup> and *Sphagnum tenellum*. There is, consequently, a continuum of variation from eutrophic to oligotrophic, and the type grades into the BOG POOL MOSS MAT type, which is ombrotrophic. One of the stands included in this type was an incipient 'brown moss palsa' elevated slightly above a surrounding GRAMINOID FEN by its ice core (Cowell *et al.*, 1978).

<sup>1</sup> In an earlier publication (Cowell *et al.*, 1978) the identification given for the blackish liverwort was *Cladopodiella fluitans*. Subsequently, more collections have been identified, and the preponderant identification for the blackish liverwort is *Gymnocolea fluitans* (*cf.* description by Schuster, 1969). *Cladopodiella* was found along with *Gymnocolea* in one of the dark-mat covered pools surrounded by bog, but here the water sample had Ca greater than 2 ppm and the site was therefore classified as FEN POOL MOSS PEAT (q.v.). In this survey *Cladopodiella* was not found in stands of BOG POOL MOSS MAT, or in any of the other bog stands.

TABLE II

Environmental characteristics for the ecosystem types. Means are based on number of stands, except when indicated by another value in parentheses after the mean. Ranges of included values are given beneath some means.

	Ecosystem type											
	Sequence I			FPMM	Sequence II				Sequence III			
	M	TS	CS		GF	LSF	TaTF	CeTF	BPMM	SB + GB	LSB	LSTB
No. of stands <sup>a</sup>	2	2	4	4	9	6	5	4	5	4	8	4
Depth of water (cm) below (+) above (-) surface												
— from highs	6	0 <sup>b</sup>	42	10	3	23	26	32	0	18	40	54
— from lows	-4	-1	14	0	-4	4	9	3	0	6	9	26
— mean	1	-1	28	5	-1	14	18	17	0	13	25	40
Peat depth (m)	1.1	1.8	1.2	2.1	1.7	1.1	1.3	1.1	2.2	2.2	2.6	2.2
	0.3-1.7	0.7-2.9	0.7-1.8	1.2-2.6	0.7-3.5	0.7-2.2	1.1-1.7	0.9-1.3	2.1-2.5	2.0-2.4	2.2-3.0	1.4-2.8
Groundwater												
— pH	5.6	6.0	5.5	5.4	5.5	5.2	5.9	5.4	3.8	3.9	3.6	3.5
	5.5-5.7	5.5-6.4	3.8-6.6	3.9-7.3	3.6-6.8	3.8-6.8	5.7-6.0	4.2-6.0	3.8-3.9	3.6-4.3	3.3-3.9	3.1-3.9
— calcium (mg/l)	6.7(2)	8.7(1)	18.2(3)	7.1(4)	12.4(7)	23.9(2)	7.1(3)	4.7(4)	2.4(4)	0.7(4)	0.7(6)	0.9(3)
	5.2-8.2	8.7	3.6-35.0	4.3-14.0	2.0-56.0	4.7-43.0	6.5-7.8	3.2-6.4	1.7-4.4	0.5-1.3	0.5-0.8	0.5-1.1
Peat (0-20 cm)												
— humification	5.2	4.2	4.4	1.8	2.6	2.9	2.7	3.4	2.7	2.0	2.3	2.2
— pH, moist-peat	5.2	5.5	5.2	4.8	5.2	4.9	5.7	5.0	3.4	3.4	3.2	2.8
	4.8-5.6	5.4-5.6	3.1-6.7	3.2-6.4	3.5-6.7	3.4-7.0	5.3-6.3	3.8-6.0	3.1-3.7	3.3-3.6	2.8-3.4	2.6-3.3
Peat (20-40 cm)												
— humification	7.3	7.2	6.6	3.1	4.8	4.2	4.0	5.8	4.4	3.6	4.3	3.8
— pH, moist-peat	5.6	5.8	5.4	5.0	5.3	5.2	5.8	5.2	3.4	3.5	3.3	3.0
	5.6-5.6	5.7-6.0	4.0-6.2	3.5-6.2	4.4-5.8	3.6-6.8	4.8-6.2	4.3-6.0	3.1-3.6	3.2-3.6	2.9-3.8	2.6-3.2

<sup>a</sup> The number of stands which had environmental measures is given. This is sometimes less than the total number of stands in the type, given in Tables I and III.

M — MARSH; TS — THICKET SWAMP; CS — CONIFER SWAMP; FPMM — FEN POOL MOSS MAT; GF — GRAMINOID FEN; LSF — LOW SHRUB FEN; TaTF — Tamarack TREED FEN; CeTF — Cedar TREED FEN; BPMM — BOG POOL MOSS MAT; SB + GB — SPHAGNUM BOG + GRAMINOID BOG; LSB — LOW SHRUB BOG; LSTB — LOW SHRUB TREED BOG.

<sup>b</sup> Only the wettest of the two THICKET SWAMP stands had water level measures taken.



## GRAMINOID FEN

In this type there is good development of graminoid dominants — inland sedge (*Carex interior*), villose sedge (*C. lasiocarpa*), mud sedge, water horsetail (*Equisetum fluviatile*), and tufted club-rush. Live and dead leaves and culms contribute to the 'grassy-field' appearance of the type. Species achieving high mean covers, in addition to those just listed, are buck-bean, common sickle moss (*Drepanocladus aduncus*) and scorpion moss. There are usually floating peat mats, the composition of which varies from pure sedge peat to various mixtures of brown moss or *Sphagnum* peat with the sedge peat. In the poorest fens, the *Sphagnum* is the dominant material. Water cover is high, exceeded only by MARSH, and the water level is above the surface on the average.

## LOW SHRUB FEN

This type is characterized by low and medium-height shrubs such as glandular swamp birch, leather-leaf (*Chamaedaphne calyculata*), sweet gale (*Myrica gale*), shrubby cinquefoil (*Potentilla fruticosa*), and glaucous fen willow (*Salix pedicellaris*). Many of the important graminoids and herbs of FEN POOL MOSS MAT and GRAMINOID FEN are also important here. Bristly fen moss (*Campylium stellatum*) and *Sphagnum teres* achieved their highest mean cover values here. The type is frequently the nontreed phase of ridges in patterned fens, although it is also found as openings in, or zones beside, treed fen areas. The depth to water is more similar, therefore, to the treed fen types (considered next) than to GRAMINOID FEN.

## TAMARACK TREED FEN

This type is dominated by stunted to small tree-sized tamarack (*Larix laricina*), and occurs on ridges of patterned fen and as broad uniform stretches in broad expanses between river systems. It contains many of the name species as GRAMINOID and LOW SHRUB FEN. Species achieving moderately high means here are speckled alder, straw-colored moss (*Calliergon stramineum*), *Hypnum lindbergii* and *Sphagnum warnstorffii*.

## CEDAR TREED FEN

This type is similar to the last, except that white cedar (*Thuja occidentalis*) is the domi-

nant. Also, the type is, on average, slightly less wet, and poorer. Some species that achieve relatively high means are sweet gale, starved sedge (*Carex exilis*), narrow-leaved sphagnum (*Sphagnum angustifolium*), *S. magellanicum*, *S. russowii*, and *S. warnstorffii*. The type occurs on raised ridges of patterned fen, which are frequently in narrow fen seepage ways between raised bogs.

## BOG POOL MOSS MAT

This type is found as mats covering small pools in ombrotrophic bog. A common dominant is the liverwort, *Gymnocolea inflata*, which grows as a deep green to brownish to purplish black mat (often appearing scorched) filling, or partially filling, the pools. These pools are in the open, central areas of raised bogs. *Sphagnum pulchrum*, *S. rubellum*, *S. tenellum* and *S. majus* are also important here, either as marginal zones encroaching over the *Gymnocolea*, or as the main moss dominating the mat. These sphagna, beaked rush and few-seeded sedge (*Carex oligosperma*) also achieve highest means here.

## SPHAGNUM BOG AND GRAMINOID BOG

Stands in this type have a continuous cover of *Sphagnum*, occurring as mats or low mounds elevated between 5 and 20 cm above the groundwater. The type could also be called 'intermediate level bog' (water levels intermediate to BOG POOL MOSS MAT, and LOW SHRUB BOG and LOW SHRUB TREED BOG). Stands of the type may occur in the open centres of raised bogs, or at open margins of bogs which are adjacent to fen types. Shrubs and shrubby black spruce growth are not abundant, achieving less than 25% cover. Graminoids may or may not be abundant. The further subdivision of this group on the basis of graminoid development needs to be re-examined. Indeed, there is usually some sedge component in all these stands, and it is difficult to estimate graminoid cover on the ground, let alone on aerial photos. One possibility for a more ecologically meaningful separation is based on the degree of consolidation of the peat mat. Usually *Sphagnum rubellum* forms a firm mat and underlying peat, and a very low hummock and hollow topography. Further, the sedge component is quite sparse, and from the air this phase of open bog is quite red-toned ('red bog', Ahti & Hepburn, 1967).

TABLE III

Species performance among the ecosystem types — mean cover (total ÷ no. of stands in the type)  
 Species listed achieved at least 20% cover in one stand, unless noted with an asterisk

Species	Ecosystem type											
	Sequence I			Sequence II					Sequence III			
	M	TS	CS	FPMM	GF	LSF	TaTF	CeTF	BPMM	SB+GB	LSB	LSTB
No. of stands	2	2	5	6	9	7	5	4	5	4	8	4
Trees												
<i>Abies balsamea</i>	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Larix laricina</i>	-	8	+	+	+	4	13	7	-	-	1	-
<i>Picea glauca</i>	-	-	7	-	-	1	1	-	-	-	-	-
<i>Picea mariana</i>	-	-	31	-	-	-	+	3	+	-	21	31
<i>Thuja occidentalis</i>	-	+	7	-	-	+	-	26	-	-	-	-
Shrubs												
<i>Alnus rugosa</i>	-	21	18	-	-	1	7	2	-	-	-	-
<i>Andromeda glaucophylla</i>	-	3	-	1	1	5	+	+	1	5	1	-
<i>Betula pumila</i> var. <i>glandulifera</i>	-	16	-	+	+	1	9	8	-	-	-	-
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	-	5	1	+	+	2	14	9	4	7	16	6
<i>Cornus stolonifera</i>	-	18	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kalmia angustifolia</i>	-	-	1	+	+	+	1	+	+	1	13	12
<i>Ledum groenlandicum</i>	-	-	14	-	-	-	4	1	+	+	5	21
<i>Myrica gale</i>	-	2	-	1	1	10	+	17	-	-	-	+
<i>Potentilla fruticosa</i>	-	7	+	-	+	6	-	5	-	-	-	-
<i>Salix pedicellaris</i>	-	-	-	-	1	4	1	2	-	-	-	-
<i>Salix planifolia</i>	-	15	+	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Forbs — Semi-shrubs												
<i>Menyanthes trifoliata</i>	-	-	-	9	8	10	1	+	-	-	-	-
<i>Oxycoccus microcarpus</i>	-	-	-	+	+	1	1	1	3	5	3	+
<i>Potentilla palustris</i>	10	1	-	-	1	3	1	+	-	-	-	-
<i>Rubus chamaemorus</i>	-	-	+	+	-	+	+	+	1	1	4	2
<i>Rubus pubescens</i>	-	1	5	-	-	+	-	1	-	-	-	-
Graminoids												
<i>Carex chordorrhiza</i> *	+	-	-	2	1	2	1	2	-	-	-	-
<i>Carex exilis</i>	-	-	-	+	+	+	-	5	-	-	-	-
<i>Carex interior</i>	-	-	-	-	6	+	-	+	-	-	-	-
<i>Carex lasiocarpa</i>	-	-	-	+	5	5	5	1	-	-	-	-
<i>Carex limosa</i>	-	-	-	11	10	13	11	2	+	3	-	-
<i>Carex oligosperma</i> *	-	-	-	-	+	-	-	-	5	+	1	-

TABLE III (continued)

	Sequence I			Sequence II					Sequence III			
	M	TS	CS	FPMM	GF	LSF	TaTF	CeTF	BPMM	sb+GB	LSB	LSTB
	<i>Carex rostrata</i>	33	5	-	-	+	+	-	-	-	+	-
<i>Eleocharis palustris</i>	14	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Equisetum fluviatile</i> *	+	1	+	-	2	4	1	1	-	-	-	-
<i>Rhynchospora alba</i>	-	-	-	6	+	+	-	+	18	2	+	-
<i>Scirpus cespitosus</i>	-	-	-	4	5	3	-	2	1	5	+	-
Bryophytes												
<i>Calliergon stramineum</i>	-	-	-	-	1	-	4	-	+	-	-	-
<i>Campylopus stellatus</i>	-	-	+	2	2	13	3	+	-	-	-	-
<i>Drepanocladus aduncus</i>	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-
<i>Drepanocladus exannulatus</i>	+	-	+	24	4	1	-	-	-	3	-	-
<i>Gymnocolea inflata</i>	-	-	-	3	-	-	-	-	14	3	-	-
<i>Hylocomium splendens</i>	-	-	17	-	-	-	1	4	-	-	-	-
<i>Hypnum lindbergii</i>	-	1	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
<i>Plagiomnium ciliare</i>	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurozium schreberi</i>	-	2	20	-	+	-	+	+	-	-	6	29
<i>Scorpidium scorpioides</i>	-	-	-	40	12	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sphagnum angustifolium</i>	-	-	-	-	+	+	-	8	-	-	+	-
<i>Sphagnum fuscum</i>	-	-	-	-	-	2	2	+	-	1	38	19
<i>Sphagnum magellanicum</i>	-	-	+	-	+	+	-	24	1	14	+	-
<i>Sphagnum majus</i>	3	-	-	-	1	-	-	-	25	-	-	-
<i>Sphagnum nemoreum</i>	-	-	-	3	+	1	2	-	+	0	+	6
<i>Sphagnum pulchrum</i>	-	-	-	-	-	2	-	-	20	6	+	-
<i>Sphagnum rubellum</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	19	38	5	2
<i>Sphagnum russowii</i>	-	-	-	+	1	1	6	16	-	-	-	-
<i>Sphagnum subsecundum</i>	-	-	-	-	+	4	-	+	-	-	-	-
<i>Sphagnum tenellum</i>	-	-	-	14	7	-	-	-	18	14	+	-
<i>Sphagnum teres</i>	-	-	-	-	+	14	-	-	-	-	-	-
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	-	-	-	-	-	2	12	12	-	-	-	-
<i>Thuidium delicatulum</i>	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tomenthyponum nitens</i> *	-	-	-	3	1	+	1	+	-	-	-	-
Lichens												
<i>Cladina rangiferina</i>	-	-	8	-	-	-	-	+	+	+	12	9
<i>Cladina stellaris</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	8	15

\* Denotes species whose coverage did not achieve 20% in at least one stand.

+ Denotes means that are less than 0.5.

M - MARSH; TS - THICKET SWAMP; CS - CONIFER SWAMP; FPMM - FEN POOL MOSS MAT; GF - GRAMINOID FEN; LSF - LOW SHRUB FEN; TaTF - Tamarack TREED FEN; CeTF - Cedar TREED FEN; BPMM - BOG POOL MOSS MAT; SB + GB - SPHAGNUM BOG + GRAMINOID BOG; LSB - LOW SHRUB BOG; LSTB - LOW SHRUB TREED BOG.

This contrasts with the other species of *Sphagnum* in the group which usually form looser, spongier peat sods, often associated with more graminoid development, and usually yellow-green in color. The latter type is more common in the southwest Hudson Bay lowland, where the *C. oligosperma* is readily distinguished on satellite imagery (A.N. Boissonneau, pers. comm.).

A number of *Sphagnum* species — *S. magellanicum*, *S. pulchrum*, *S. rubellum*, and *S. tenellum* — occur here with highest or second to highest mean cover values. Species with highest mean covers include bog rosemary (*Andromeda glaucophylla*), small bog cranberry (*Oxycoccus microcarpus*), and tufted club-rush.

#### LOW SHRUB BOG

This type consists of low, ericaceous shrub-dominated sites in ombrotrophic bog, usually on an elevated ridge phase in the bog centres. Important shrubs include leather-leaf, sheep-laurel (*Kalmia angustifolia*) and Labrador-tea (*Ledum groenlandicum*). Black spruce also achieves high cover here, but is usually less than breast height and occurs in a medium-to-low shrub form ('krumholz'). Particularly important in the ground layer are brown bog sphagnum (*S. fuscum*), Schreber's feather moss, and reindeer lichen (*Cladina rangiferina* and *C. stellaris*). Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) achieved its highest mean here. This type had the deepest mean peat depth, 2.6 m, but all of the bog types had peat depths averaging over 2 m.

#### LOW SHRUB TREED BOG

These are bogs forested with black spruce. To distinguish these from open bogs, an arbitrary level of 10% cover of individuals over breast height must have been achieved (Jeglum & Boissonneau, 1977). The important species of this unit are virtually the same as those of LOW SHRUB BOG. However, in comparison with LOW SHRUB BOG, there are higher mean covers here for black spruce, Labrador-tea, Schreber's feather moss, *Sphagnum nemoreum*, and *Cladina stellaris*, and lower mean covers for leather-leaf, cloudberry, brown bog sphagnum, and *Cladina rangiferina*. These changes are related to the greater shade, and the higher elevation of the type above the groundwater level.

#### RELATIONSHIPS AMONG THE TYPES

A useful way to interrelate types is to indicate their positioning along two major complex gradients — moisture and nutrient regime. Calcium and pH of the ground-water sample were used to derive seven trophic-pH classes, and depth to water level was used to derive five water level classes (Table IV).

MARSH and THICKET SWAMP were meso- to eumesotrophic, and did not achieve eutrophic levels, probably because they are influenced by somewhat calcium-diluted waters of the flowage systems (Table IV). Their moisture regimes are highly variable, depending upon the stage of flooding-drawdown for the sites at the time of sampling.

The occurrence of the remainder of the minerotrophic types varies considerably according to nutrient regime, usually from oligotrophic to eutrophic (Table IV). This indicates that at the broad level of classification employed, the types include a wide range of nutrient regimes. Indeed, most types included stands which ranged from practically *Sphagnum*-free in richer stands to *Sphagnum*-rich in stands tending toward oligotrophic conditions. In terms of moisture regime, these types tended to be more specific for certain water level classes. Of the minerotrophic types, however, GRAMINOID FEN and LOW SHRUB FEN occurred over the broadest range.

The bog types were relatively specific with respect to both moisture and nutrient regimes (Table IV). In the sequence of bog types from wettest to least wet, the water pH values decrease, and this indicates greater acidification as bog surfaces become higher.

From the survey information on hand, and from impressions gained while flying over the area and inspecting aerial photos, a conceptual model of relations among the ecosystem types was developed (Fig. 2). The model positions the ecosystems in terms of two major complex factors — nutrient and moisture regime — and also in terms of the type of hydrological system with which they are associated. In the model, solid arrows represent frequently observed topographic sequences of types associated with increasing depth to water. Dashed arrows represent either topographic sequences or more or less horizontal transitions, which are related to decreases in nutrient regime

TABLE IV

Occurrence of the ecosystem types relative to trophic-pH classes and depth to water level classes. Groundwater pH, modified in the lower ranges by calcium in the water, and mean water level, were used to place stands in classes.

Ecosystem type	Trophic — pH classes						Depth of water level classes (cm)					
	Ombrotrophic Ca ≤ 2.0 ppm <3.8    3.8–4.4		Minerotrophic, Ca > 2.0 ppm					Shallow water –20 to –6	Flark level –5 to 5	Inter. mediate level 5 to 20	Hummock level 21 to 40	>40
			Oligo- trophic <5.0	Oligo- meso 5.0–5.4	Meso- trophic 5.5–5.9	Eumeso- trophic 6.0–6.4	Eutrophic >6.4					
M	—	—	—	—	2	—	—	—	1	—	—	
TS	—	—	—	—	1	—	1	—	1	—	—	
CS	—	—	1	1	—	—	2	1	—	3	—	
FPMM	—	—	2	1	—	—	1	—	3	1	—	
GF	—	—	2	2	1	—	3	1	2	—	—	
LSF	—	—	2	2	1	—	—	2	2	2	—	
TaTF	—	—	—	—	4	—	1	—	4	1	—	
CeTF	—	—	1	—	2	—	1	—	3	1	—	
BPMM	—	5	—	—	—	—	—	5	—	—	—	
SB+GB	2	2	—	—	—	—	—	—	3	1	—	
LSB	6	2	—	—	—	—	—	—	3	4	1	
LSTB	3	1	—	—	—	—	—	—	—	3	1	

M – MARSH; TS – THICKET SWAMP; CS – CONIFER SWAMP; FPMM – FEN POOL MOSS MAT; GF – GRAMINOID FEN; LSF – LOW SHRUB FEN; TaTF – Tamarack TREED FEN; CeTF – Cedar TREED FEN; BPMM – BOG POOL MOSS MAT; SB+GB – SPHAGNUM BOG + GRAMINOID BOG; LSB – LOW SHRUB BOG; LSTB – LOW SHRUB TREED BOG.

and may or may not be accompanied by changes in depth to water.

Along flowage lakes and streams, where wetlands are often influenced by flooding and peats are relatively shallow, sequence I is found: SHALLOW MARSH → MEADOW MARSH → THICKET SWAMP → CONIFER SWAMP (Fig. 2). Sequence I may end with upland forest or with LOW SHRUB TREED BOG. In broader expanses of peatland which are not subject to such great water level fluctuations but are still in contact with mineral soil water, sequence II occurs: FEN POOL MOSS MAT → GRAMINOID FEN → LOW SHRUB FEN → Tamarack or Cedar TREED FEN. Sequence II may end with CONIFER SWAMP or a BOG type. Sequence III is the bog sequence, found associated with ombrotrophic raised bogs: BOG POOL MOSS MAT → SPHAGNUM and GRAMINOID BOG → LOW SHRUB BOG → LOW SHRUB TREED BOG. Sometimes treed bog may abut an upland mineral site such as a beach ridge, but usually it is the 'driest' phase of bog development on raised bogs.

The model is useful for explaining spatial patterns of vegetation types in the landscape (Fig. 2). Sometimes the arrows may represent successional trends, that is, variations over time. The general trend of peatland development is toward drier and poorer conditions, terminating in treed bog, which is driest and most isolated from mineral soil waters. However, it cannot be inferred from this that one of these sequences will invariably occur, or has occurred, at any one site. A successional sequence may not start with the wettest types. In fact, a site may start its peatland development as a forest on mineral soil, progress through CONIFER SWAMP, and develop into wetter types such as TREED FEN or even OPEN FEN TYPES, and then become 'drier' again as raised bog develops (cf. Martini *et al.*, 1980). Consequently, the reader is cautioned *not* to interpret the model in terms of successional pathways, but rather in terms of field-observed spatial sequences of vegetational types. Elucidation of successional pathways requires more detailed study of peat stratigraphy in transects across peatland areas (cf. Heinselman, 1963).

### Discussion

Since there are only 61 samples, the present classification of ecosystem types is obviously not a complete treatment. How-

ever, this study does represent a rather detailed assessment of both vegetation and environment for an interior area of the southern portion of the HBL. By obtaining peat and water chemistry data, it was possible to determine, with virtual certainty, whether a stand was ombrotrophic bog, as opposed to minerotrophic fen, swamp, and marsh. This has shown clearly that a number of species do not occur at all in ombrotrophic bog, and these are the 'sensitive indicators of minerotrophy' of Sjörs (1961, 1963). Other species seem to favor either the marsh and swamp group (Sequence I), or the fen group (Sequence III). Yet others seem to favor a particular position on the depth-to-water gradient, or perhaps a particular light regime. These individualistic patterns can be observed in Table III.

Two types that have not previously been described were recognized in this study. The BOG POOL MOSS MAT could also have been called 'flark level bog', since it had water levels just about at the surface of the moss mat. One stand originally classified as this type had to be moved to the category FEN POOL MOSS MAT because it had a Ca concentration over 2.0 ppm. This stand was definitely in a raised bog, was dominated by *Gymnocolea inflata* like several other stands that were ombrotrophic, and had no sensitive indicators of minerotrophy. This suggests that these moss mats over pools in bogs may be separated by only narrow lenses of ombrotrophic water overlying minerotrophic water and peat. The FEN POOL MOSS MAT included a wide range of trophic conditions, from eutrophic dominated by scorpion moss to oligotrophic where the dominant mosses included *Sphagnum* species and *Drepanocladus exannulatus*. The latter moss was also found in the ombrotrophic SPHAGNUM and GRAMINOID BOG type.

From the present analysis it is clear that more detailed ecosystem types can be recognized with further work. To classify the stands we used as a starting point a classification based largely on physiognomy and dominance of vegetation (Jeglum *et al.*, 1974). This was modified to some degree by the habitat data pertaining to nutrient and moisture regimes, viz., groundwater pH and calcium content, and depth to water. Inferences about flooding by the waters of adjacent rivers and flowage lakes were also added. This approach has also been used in Finland, but has been carried to a much

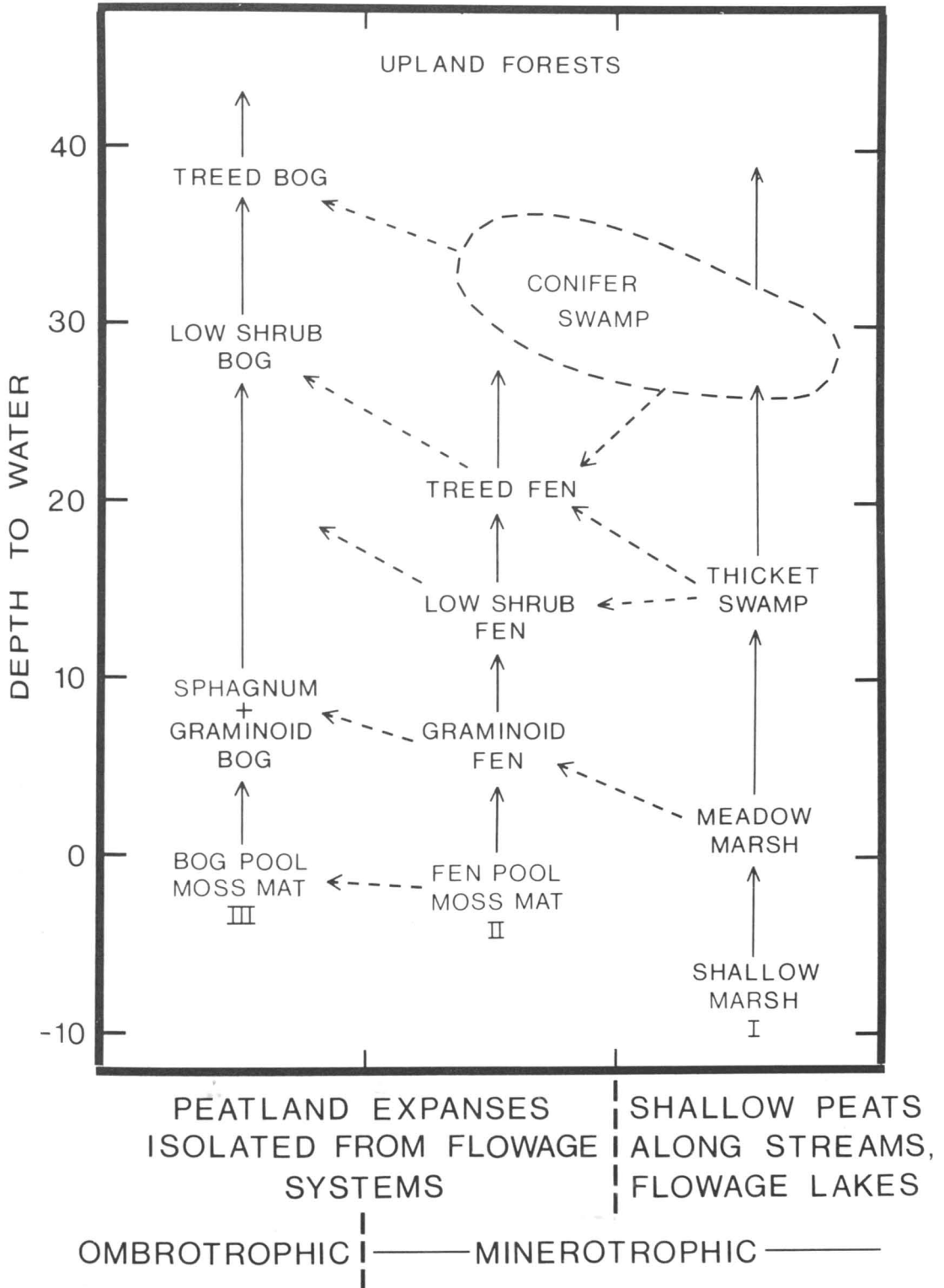


Figure 2. A conceptual model of major vegetation-environment relationships among the wetland ecosystem types.

more detailed and exacting level owing to the long history of peatland studies there (Cajander, 1913). In Finland the trophic level and ground level (hummock, intermediate, flark level) attributes especially have been used to help define the types (Eurola & Kaakinen, 1978). It is recommended that future work on classification of peatland ecosystem types progress along similar lines, since the Finnish types are similar in so many ways to peatlands in the Hudson Bay lowland.

### Acknowledgments

We are grateful to A. Boissonneau, Y. Desjardins, W. Glooschenko, R. McCrae, J. Merriman, S. Pala, J. Riley, and R. Sims for help in planning and conducting field work. We thank R. Ireland, P.Y. Wong, and H. Williams for identifications of mosses, lichens, and liverworts, respectively. We also wish to thank others, too numerous to mention, from several agencies which participated in this interagency, integrated program of baseline studies in the Hudson Bay lowland — Environment Canada, including the Canadian Forestry Service, the Canadian Wildlife Service, the Lands Directorate, the Inland Waters Directorate, and the Canada Centre for Inland Waters; the Ontario Ministry of Natural Resources, including the Ontario Centre for Remote Sensing, the Moosonee District of the Northern Region, and the Wildlife Section of the Research Branch; and the Royal Ontario Museum.

### References

- AHTI, T. & R.L. HEPBURN, 1967. Preliminary studies on woodland caribou range, especially on lichen stands, in Ontario. — Ont. Dept. Lands For., Res. Rep. (Wildlife), no. 74, 134 p.
- ANONYMOUS, 1979. Analytical methods manual. — Dept. Environ., Inland Waters Dir., Water Qual. Br., Ottawa, Ontario.
- BROWN, R.J.E., 1967. Permafrost in Canada. — Geol. Surv. Can., Map 1246A (Scale 1" to 120 mi.).
- CAJANDER, A.K., 1913. Studien über die Moore Finlands. — Acta. For. Fenn., 2(3): 1-208.
- CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE, SUB-COMMITTEE ON SOIL CLASSIFICATION, 1978. The Canadian system of soil classification. — Can. Dept. Agric., Publ., no. 1646, 164 p.
- CHAPMAN, L.J. & M.K. THOMAS, 1968. The climate of northern Ontario. — Can. Dep. Transp., Met. Br., Climatol. Stud., no. 6, 58 p.
- COWELL, D.W., J.K. JEGLUM & J.C. MERRIMAN, 1978. Preservation of seasonal frost in peatlands, Kinoje Lakes, southern Hudson Bay lowland. — Proc. Third Intn. Conf. Permafrost, Edmonton, Alberta, July 1978, 6 p.
- EUROLA, S. & E. KAAKINEN, 1978. Suotyyppiopas. — Werner Söderström Osakeyhtiö, Helsinki, 87 p.
- GORHAM, E. & W.H. PEARSALL, 1956. Acidity, specific conductivity and calcium content of some bog and fen waters in northern Britain. — J. Ecol., 44: 129-141.
- HALE, M.E., Jr. & W.L. CULBERSON, 1970. A fourth checklist of the lichens of the continental United States and Canada. — Bryologist, 73: 499-543.
- HEINSELMAN, M.L., 1963. Forest sites, bog processes, and peatland types in the glacial Lake Agassiz region, Minnesota. — Ecol. Monogr., 33: 327-374.
- IRELAND, R.R., C.D. BIRD, G.R. BRASSARD & D.H. VITT, 1980. Checklist of the mosses of Canada. — Publ. Bot., Natn. Mus. Can., no. 8, 75 p.
- JEGLUM, J.K. & A.N. BOISSONNEAU, 1977. Air photo interpretation of wetlands, Northern Clay Section, Ontario. — Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Report no. 0-X-269, 44 p.
- JEGLUM, J.K., A.N. BOISSONNEAU & V.F. HAAVISTO, 1974. Toward a wetland classification for Ontario. — Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Inf. Rep. no. 0-X-215, 54 p.
- KÜCHLER, A.W., 1967. Vegetation mapping. — Ronald Press, New York, N.Y., 472 p.
- MARTINI, I.P., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE, 1980. Geomorphology of southwestern James Bay: A low energy, emergent coast. — Pages 293-301 in S.B. McCann. The coastline of Canada. Geol. Surv. Can., Paper no. 80-10, 439 p.
- PALA, S. & W. WEISCHET, 1982. Toward a physiographic analysis of the Hudson Bay-James Bay lowland. — Naturaliste can., 109: 637-651.
- RAVELING, D.G. & H.G. LUMSDEN, 1977. Nesting ecology of Canada geese in the Hudson Bay lowlands of Ontario: Evolution and population regulation. — Ont. Min. Nat. Resour., Fish Wildl. Res. Rep., no. 98, 77 p.
- SCHUSTER, R.M. 1969. The Hepaticae and Anthocerotae of North America east of the hundredth meridian, Vol. II. — Columbia Univ. Press, New York, 1062 p.
- SCOGGAN, H.J., 1978/1979. The flora of Canada. — Publ. Bot. Natn. Mus. Can., no. 7(1-4), 1711 p.
- SIMS, R.A., J.L. RILEY & J.K. JEGLUM, 1979. Vegetation, flora and vegetational ecology of the Hudson Bay lowland: A literature review and annotated bibliography. — Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Rep. no. 0-X-297, 177 p.



SJÖRS, H., 1961. Forest and peatland at Hawley Lake, northern Ontario. — Bull. natn. Mus. Can., 171 : 1-31.

SJÖRS, H., 1963. Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario. — Bull. natn. Mus. Can., 186 : 45-133.

STOTLER, R. & B. CRANDALL-STOTLER, 1977. A checklist of the liverworts and hornworts of North America. — Bryologist, 80 : 405-428.



## TOWARD A PHYSIOGRAPHIC ANALYSIS OF THE HUDSON BAY-JAMES BAY LOWLAND

S. PALA

*Ontario Centre for Remote Sensing  
Ministry of Natural Resources  
880 Bay Street, 3<sup>rd</sup> Floor  
Toronto, Ontario*

and

W. WEISCHET

*Geographisches Institut I  
der Universität Freiburg i.Br.  
D-78 Freiburg i.Br., Werderring 4  
Federal Republic of Germany*

### Résumé

La physiographie des basses-terres de la région des baies James et d'Hudson se reflète dans la formation des différents types de terrains humides. Les auteurs décrivent le classement et la cartographie des basses-terres du sud de la baie James, réalisés à l'aide de données prises à partir du satellite Landsat, de photographies aériennes et d'échantillonnage sur le terrain. Ils expliquent aussi certains éléments physiographiques par rapport aux données prises par le satellite. Le Centre ontarien de télédétection a l'intention d'utiliser ce classement comme modèle et de l'appliquer à toute la région des basses-terres ontariennes des baies James et d'Hudson.

### Abstract

The physiography of the Hudson Bay-James Bay lowland is reflected in the development of different wetland types. This paper describes the classification and mapping, using satellite and airborne data and field investigation, of the physiographic units of a region in the southern James Bay lowland. Individual physiographic units and their associated wetland types are described. The results of a digital analysis of Landsat data for each physiographic unit are included. The Ontario Centre for Remote Sensing intends to use the classification performed in this area as a model for the physiographic analysis of the entire Hudson Bay-James Bay region of Ontario.

### Introduction

Since 1977, the Ontario Centre for Remote Sensing (OCRS) has conducted an extensive study of the Ontario portion of the Hudson Bay-James Bay lowland, using a combination of aerial photography, Landsat data and field work, with the objectives of mapping the types of wetland which occur over the region, and describing the constituent physiographic units. Preliminary visual interpretation was performed on 1 : 60,000-scale aerial photography and Landsat imagery for the initial formulation of a classification scheme and for the identification of field

sampling sites (Pala & Boissonneau, 1980). During one summer month in both 1978 and 1979, a multidisciplinary group including geomorphologists, a geologist, a wetlands specialist, and a botanist conducted extensive field sampling in the lowland, using helicopter transport. Synthesis of the large volume of field data collected was performed through the analysis of Landsat data.

### Study area

The Ontario portion of the lowland extends over approximately 250,000 km<sup>2</sup>, from latitude 50°N to latitude 56°N, and comprises

permafrost-free, discontinuous permafrost and permafrost zones. Seven major rivers flowing into James and Hudson Bay cut through the region (Harricanaw, Moose, Albany, Attawapiskat, Ekwan, Winisk and Severn).

The initial task of the OCSR study was to establish a detailed physiographic classification framework from the analysis of a segment of the lowland which could subsequently be applied over the entire area, subject to such modification as required by regional variations and the effects of permafrost. The area selected for this phase of the study was the southern part of the James Bay lowland (Fig. 1).

### Relationship of the OCSR study to previous classification systems

Coombs (1954) classified the entire lowland into four major physiographic units: the dry zone, the muskeg and small lake zone, the marine clay zone and the coastal zone. The classification of Hills (1959) consisted of the Hudson Bay site region, subdivided into the Wood Creek, Dickey River, Winisk River and Cape Henrietta Maria site districts. The basis for Hills site district classification is vegetation cover, characteristic landforms, relief and depth to bedrock, soil materials and drainage. The classifications of Coombs and Hills correspond to

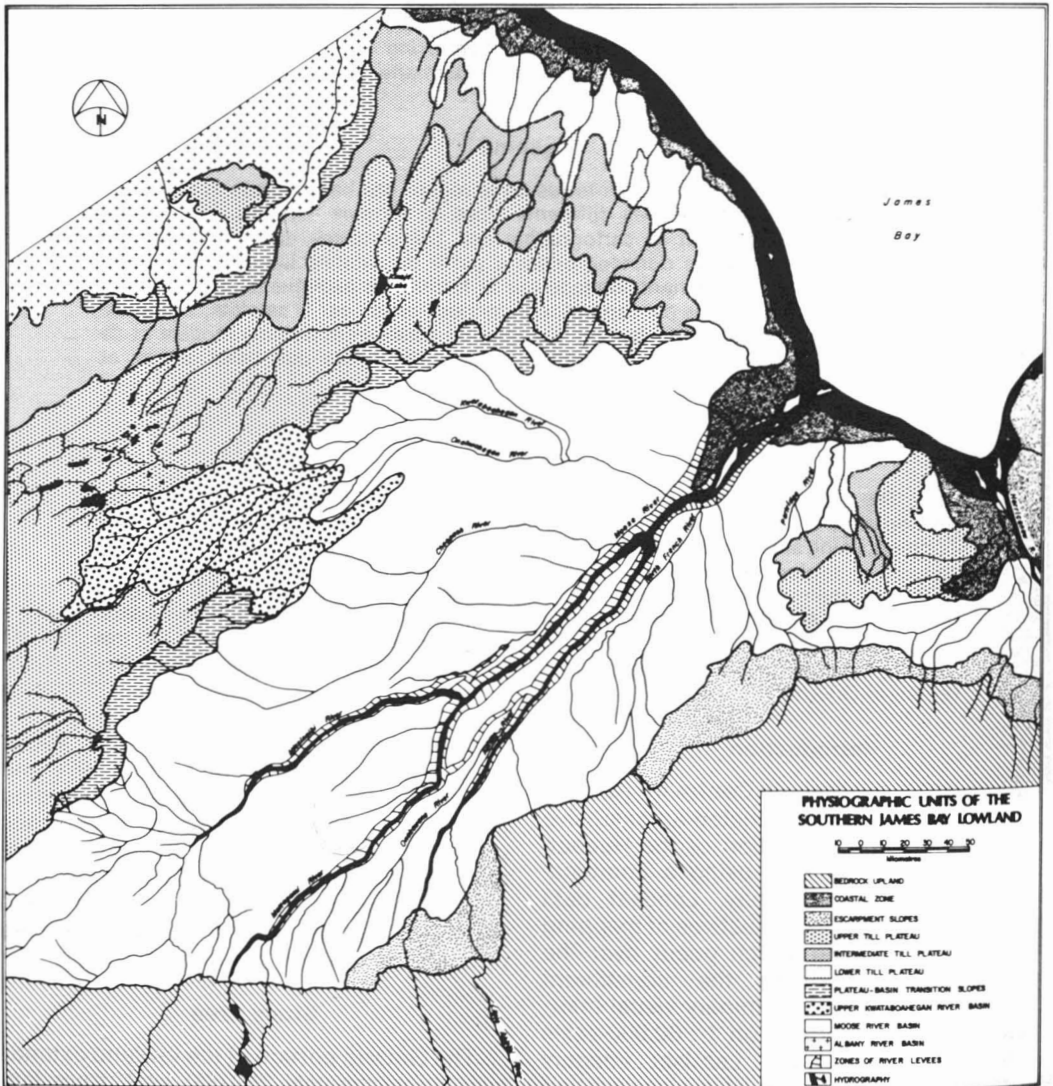


Figure 1. Physiographic units of the southern James Bay lowland.

the first two levels of classification in the *Guidelines for Bio-Physical Land Classification* (1969) of the Canada Land Inventory (CLI) — the land region and the land district.

A classification approaching the third and fourth CLI classification levels — land system and land type — was performed by Dean (1959) from the interpretation of aerial photography and a limited amount of field work. Dean's study area consisted of the area covered by the 1:500,000-scale Albany River aeronautical map sheet. Within the lowland portion of this area, two major physiographic regions are identified, the lowland border plains and the James Bay coastal plain. The James Bay coastal plain roughly corresponds to the OCRS study area. Dean identified ten landscapes within this area: 1. Moose marine plain. 2. Nattabisha bog plain. 3. Kinoje bog plain. 4. Long Ridge shore strip. 5. Sandbank lakes and beaches. 6. Albany plains. 7. Mamamattama delta. 8. Ridge slope. 9. Partridge washed plains and 10. Wawa lakes ridge. Dean (1959, p. 339) suggests that wetland types are to some degree related to the character of the underlying materials and observes that further investigation of this relationship is required.

The classification framework proposed in this paper corresponds to the third and fourth CLI classification levels. The objective of the OCRS program has been to integrate an examination of the topography and nature of materials underlying the wetlands with a study of wetland types. On the basis of evidence collected from field sampling that each wetland type is a product of the composition and topography of underlying materials, physiographic units have been identified and delineated according to the wetland types present and the patterns which they assume. The physiographic units, therefore, may more properly be termed biophysical landscape units.

The following is an outline of the theoretical basis for the classification system employed in this study and for its extrapolation to areas beyond the present study area.

A biophysical landscape unit is distinguished and identified by four major attributes: (a) the number of wetland types which compose it; (b) the proportional area coverage of the wetland types; (c) the geometric form and orientation of the wetland types and the pattern which they create; (d) the topography and composition of the materials

underlying the wetlands. Data on factors (a) and (b) can be obtained by the digital analysis of Landsat data, extrapolated from field identification. Data on factor (c) is obtained from the visual interpretation of Landsat data and aerial photography. Data on factor (d) is available from existing topographic and geological maps, and from the study of samples of material obtained in the field.

The determination of these four attributes for a given area and the establishment of the causes of each provide knowledge of the relationship between wetland types and physiography which can be used to classify the biophysical units of other areas.

### Materials and methods

During the summers of 1978 and 1979, a ground survey was conducted of approximately 500 pre-selected sites over the entire lowland, of which over 200 were located in the James Bay lowland (Fig. 2). Peat depths were measured, and samples of the underlying soil materials were taken using an auger specially constructed for this purpose, consisting of a 30 cm-long heavy metal head, with several 1 m-long solid metal extensions which could be attached for sampling at various depths. Measurements of the pH value of the wetlands were made, at a depth of 10 cm below the water surface. No attempt was made to determine the horizons of decomposition within the peat. Specimens of all the plant types encountered were collected and catalogued. The proportional species composition was determined in order to establish the dominant species and the degree of tree cover. An assessment of wetland types at each site was recorded according to peat depth, dominant plant species, degree of tree cover, degree of open water, and pH value of the water. An assessment of the physiographic character of each sample site was recorded, on the basis of the topography, drainage and composition of materials underlying the peat. The overall appearance of the site was recorded by low-level aerial photography, using a hand-held 35 mm camera for oblique coverage and a 70 mm camera mounted on the helicopter for vertical coverage. Numerous ground photographs were obtained during the survey of each site to keep a permanent record of conditions observed for later examination.

Landsat imagery, in conjunction with existing 1:60,000-scale black and white

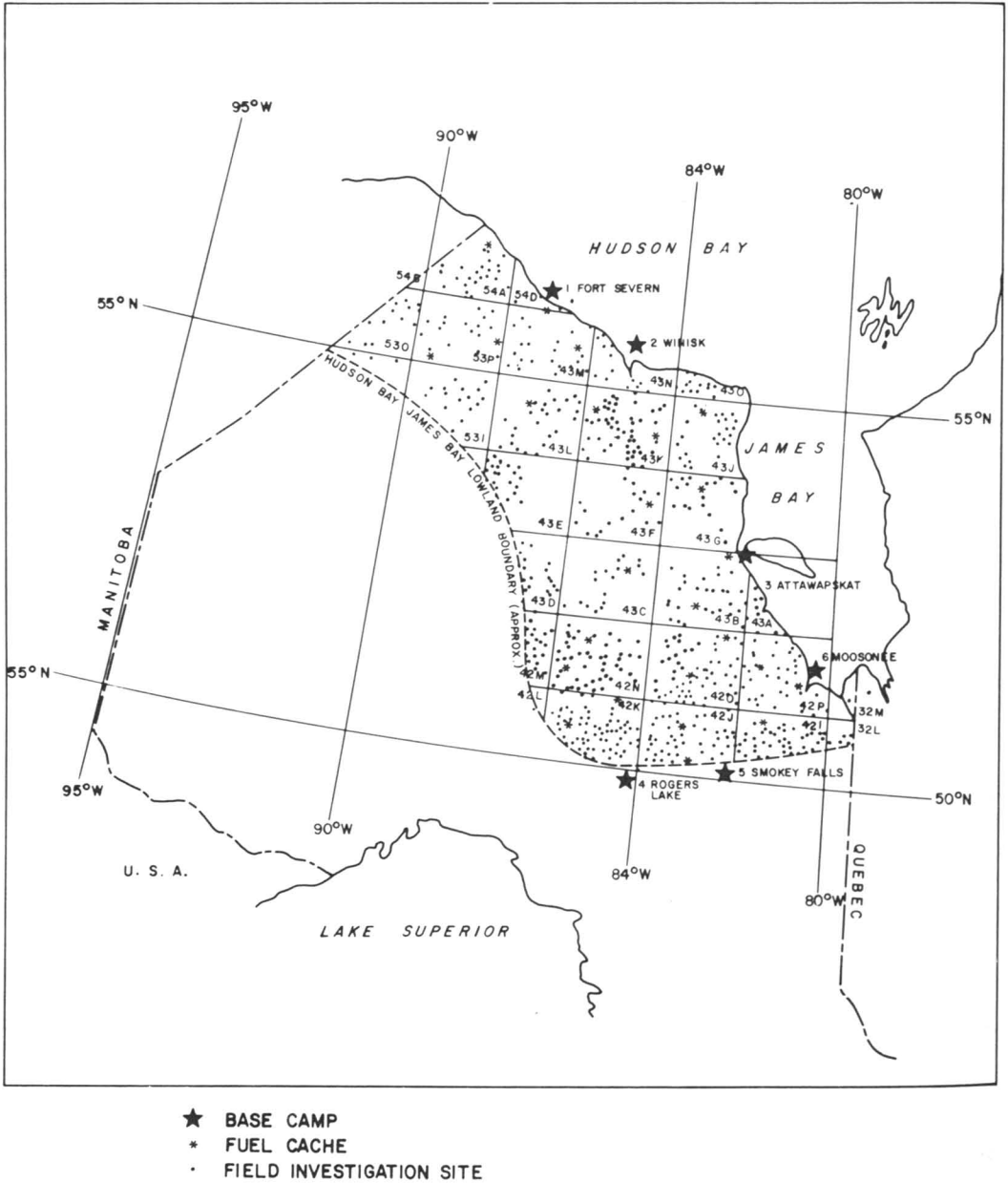


Figure 2. Field investigation sites for wetland classification of the Hudson Bay-James Bay lowland.

aerial photography, was employed for preliminary classification and sample site selection. The comparison of Landsat data from different seasons aided the differentiation and identification of wetland types. Using training data obtained from the interpretation of the aerial photography and from field data, a digital analysis of Landsat

data was performed, by means of a supervised classification technique, to map the extent and distribution of wetland types within individual physiographic units. Although no numerical comparison was made, a visual comparison between the wetland mapping produced by the digital analysis of Landsat and the results of

visual interpretation of the Landsat imagery and of the aerial photography revealed no major discrepancies.

### Classification of wetland types

Although the classification systems developed by Hustich (1957) and Sjors (1961) were considered, the wetland types described by Jeglum *et al.*, (1974) were preferred, for the following reasons: 1) Jeglum's classification was judged to be the most thorough and comprehensive. 2) Jeglum's terminology corresponds to that of the Canada wetland classification developed by Zoltai *et al.* (1975). 3) The classification was established through intensive study in Ontario.

The following is an outline of the wetland types employed in the classification system of this study, as derived from Jeglum *et al.* (1974) and Zoltai *et al.* (1975). The reader is referred to these sources for a full description of the criteria by which the types are distinguished:

- Open water
- Tidal mud flat
- Marsh meadow
- Marsh, thicket and alder
- Fen
  - Treed fen (open tamarack)
  - Patterned fen with spruce islands
  - Open graminoid fen
  - Treed fen (black spruce-tamarack)
- Bog
  - Treed bog
  - Open bog
  - String bog (with pools and black spruce ridges)
  - Blanket bog (open)
  - Blanket bog (treed)
- Conifer forest and conifer swamp
- Exposed soil or rock outcrops

### Physiographic units of the James Bay lowland

The physiographic units of the southern portion of the James Bay lowland distinguished by this study are described below and delineated in Figure 1. In the course of digital analysis of Landsat data, proportional area coverage values were obtained for each wetland type present within two or three representative sample areas of each of the physiographic units. The combined area of the samples ranged from 50 km<sup>2</sup> to 320 km<sup>2</sup>, depending on the size of the unit.

The values obtained from the sample areas were averaged to determine the characteristic representation of each wetland type within each physiographic unit (Table I). This quantitative description of the physiographic units is considered to reflect the results of the digital analysis accurately, for two reasons. First, the representation of wetland types was found to be quite consistent across a physiographic unit. Secondly, the areas sampled in each case constituted approximately 50% of the entire unit. The physiographic units identified by this study are as follows:

1. BEDROCK UPLANDS
2. LOWLAND
  - 2.1 Escarpment slopes
  - 2.2 Till plateaus
    - 2.2.1 Upper plateau areas
    - 2.2.2 Intermediate plateau areas
    - 2.2.3 Lower plateau areas
  - 2.3 Fluvially-modified accumulation basins
    - Example: Moose basin
    - 2.3.1 Plateau-basin transition slopes
    - 2.3.2 Upper Kwataboahagan basin
    - 2.3.3 River levee zones
  - 2.4 Beach deposits
  - 2.5 Coastal zone

The area of bedrock upland is not the subject of this investigation; however, it is included as a major physiographic site district in order to define the lowland area.

#### 1. BEDROCK UPLAND

The northern edge of the Precambrian Shield forms the southern boundary of the wetlands, creating an abrupt elevation in topography with steep escarpments in some areas. For the most part, the uplands are covered with a thick layer of glacial deposits; only over a small proportion of the area are bedrock outcrops visible. The dominant vegetation is northern boreal forest: the northern edge of the Shield is recognized in the literature as the northern limit of the boreal forest. This unit corresponds to the Kesagami site district (no. 3) of Hills (1959).

#### 2. LOWLAND

This region is characterized by very little topographic relief and by the predominance of peat cover. The depth of peat varies from 0.5 m to 3.5 m, depending of the length of time during which the site has been exposed above water, a function of the topography of the underlying glacial till or marine sedi-

TABLE I

Proportional representation of wetland types within each physiographic unit of the southern James Bay lowland

<i>Wetland types</i>	<i>% Coverage of wetland types in each physiographic unit</i>								
<i>Main physiographic unit (land system)</i>	<i>Till plateau</i>			<i>Fluvially-modified accumulation basin</i>					<i>Coastal zone</i>
<i>Sub-units (Land type)</i>	<i>Upper till plateau</i>	<i>Intermediate till plateau</i>	<i>Lower till plateau</i>	<i>Moose basin</i>	<i>Plateau-basin transition slopes</i>	<i>Upper Kwataboahagan basin</i>	<i>River levee zones</i>	<i>Escarpment slopes</i>	
Area of sample from which proportionate area coverage of wetland types was calculated (km <sup>2</sup> )	340	150	120	330	50	200	35	170	110
Open water	4.0	0.5	0.1	2.1		1.0	31.8	1.1	12.9
Tidal mud flat									37.0
Marsh meadow							0.5		8.0
Marsh, thicket and alder	0.6	1.6	1.4	3.1	1.2	0.7	19.9	2.1	16.2
Treed fen (open tamarack)	11.9	28.1	47.9	11.2	35.5	11.2	3.9	5.1	15.0
Patterned fen with spruce islands	10.1	23.8	18.9	3.6	15.2		0.8	3.2	
Open graminoid fen		1.6	2.2	8.0	6.8		0.6	2.2	4.5
Treed fen (black spruce-tamarack)	2.8	7.5	3.8	21.7	22.0	4.3	10.4	11.7	4.3
Treed bog	37.8	10.8	13.4	7.1	2.1	53.0	7.2	19.7	
Open bog	6.3			5.7	4.5	9.1		8.6	
String bog (bog with pools and black spruce ridges)	16.3	16.9	9.1		4.9	11.2		2.1	
Blanket bog (open)				10.2				1.7	
Blanket bog (treed)	4.9			22.5		2.4		1.9	
Conifer forest and conifer swamp	5.3	9.2	3.2	4.8	7.8	7.1	20.4	31.1	
Exposed soil or rock outcrops							4.5	9.5	2.1



ments and of the distance of the site from the present coastline. Mineral soils occur in the lowland primarily in the form of beach ridges, the remains of old coastlines, and on river levees.

The lowland region consists of several distinct physiographic units:

### 2.1 *Escarpment slopes*

The slopes that form the transition between the Precambrian Shield and the James Bay lowland have their origin in an ancient coastal slope and denudation zone. In general, the area slopes very gently from the escarpments of the Shield, with slight undulations in surface topography caused by small differences in the elevation of the bedrock. There are some instances of exposed bedrock. Most depressions in the bedrock are filled with the sand deposits of old beaches, on which a podzolic soil profile has developed, supporting jack pine vegetation. There are sand dunes at some locations and a few small, shallow lakes occur in bedrock depressions. In other areas, the silt and sand deposits present in depressions are overlain by peat accumulations in an irregular pattern of bogs and fens.

### 2.2 *Till plateaus*

Topographically, this unit comprises the areas of higher ground within the lowland. The difference in elevation is the result of original variations in bedrock topography, of ice-carved topographic differences, or of variations in the thickness of till deposits. Genetically, the plateaus consist predominantly of basal till deposits with only thin covers of marine sediments. Figure 3A shows the surface character of a till plateau at the stage of emerging from the water. Slight topographic differences, 20 to 30 cm at the most, created by selective erosion, produce an irregular pattern on the surface. Further inland, this pattern has given rise to various stages of development of wetland types, bogs on the elevated areas and fens in the drainage channels, along with lakes and pools (Figure 3B). The peat depth on the plateaus increases with distance from the coast, from 1.0 m to 3.0 m. In areas of deeper peat accumulation, small hummocks occur containing ice lenses, which are insulated by the peat against melting. It is not known whether they are permanently frozen but the field party encountered them in July at latitude 52°N on the Nattabisha and Kinoje till plateaus. The plateaus are

the headwater regions of many small tributaries of the major rivers in the lowland.

The plateaus are mapped by Martini *et al.*, (1980) as "interfluvial areas". That study describes the process of paludification of the coastal zone and the subsequent formation of the plateaus. The present study proposes a division of this unit into sub-types according to the proportional representation of wetland types, the presence and distribution of waterbodies and the average peat depth.

Within the southern James Bay lowland, two till plateaus occur. The smaller of the two is located between the Harricanaw and Moose rivers, and is characterized by an almost radial drainage pattern. The distinctness and shape of this plateau are evidence that it was originally an island, like the present Charlton and Akimiski islands in James Bay. Dean (1959) calls this "island" the Nattabisha bog plain; the present study has termed it the Nattabisha till plateau.

The second is the Kinoje till plateau, which appears to have greater continuity with inland areas. This plateau is characterized by an arc-shaped pattern of parallel bogs, probably related to underlying limestone bedrock strata or to the effect of fluvial erosion on till. The presence along the coastline of north-south-oriented narrow promontories with exposed limestone bedrock is evidence that the orientation of the wetlands may be bedrock-determined.

The northern portion of the Kinoje till plateau corresponds to the area classified by Dean (1959) as the Kinoje bog plain and the southern portion to a type named "Sand-bank lakes and beaches". The present authors consider that both areas are adequately described as lying within a till plateau unit, particularly as three sub-types are distinguished within it. These sub-types are as follows:

#### 2.2.1 *Upper plateau areas*

The most elevated parts of the till plateaus are characterized by the presence of a few coalescent lakes, which suggests a relict form of thermokarst peat plateau such as it exists at the present time in an active form north of the Winisk River elbow. The only ice present is in the form of ice lenses, which occur sporadically in peat hummocks, 20 to 30 cm below the surface. The peat varies in depth from 2.5 m to 3.0 m. Large treed and shrub-rich bogs are the dominant



Figure 3.A. The surface character of a till plateau at the stage of emerging from the water. Slight topographic differences, 20 cm to 30 cm at the most, created by selective erosion, produce the irregular pattern visible on the photograph. B. Further inland, the original pattern shown in Figure 3A has given rise to various stages of development of wetland types, bogs on the elevated areas and fens in the drainage channels.

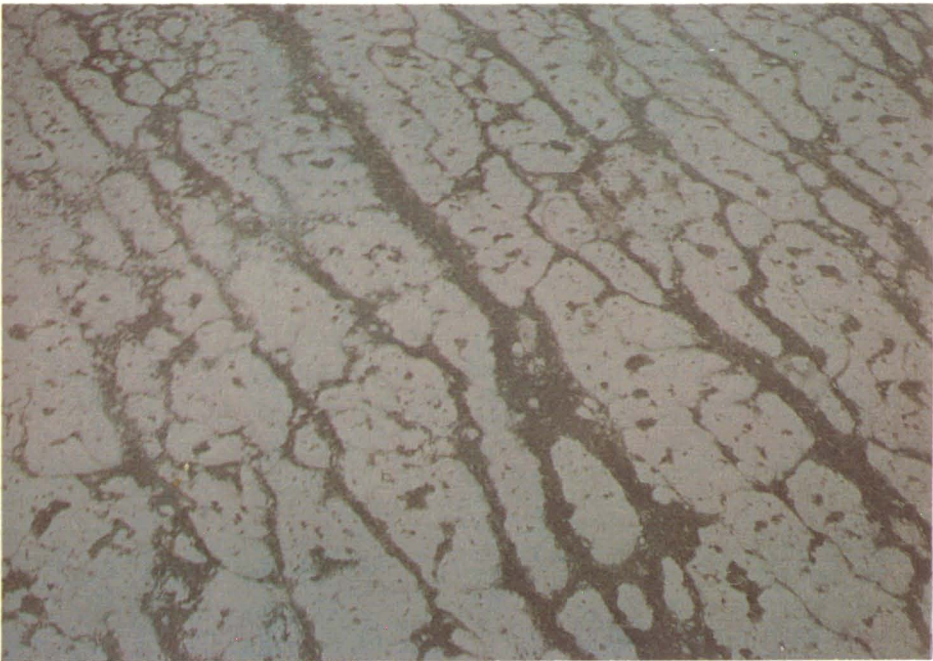
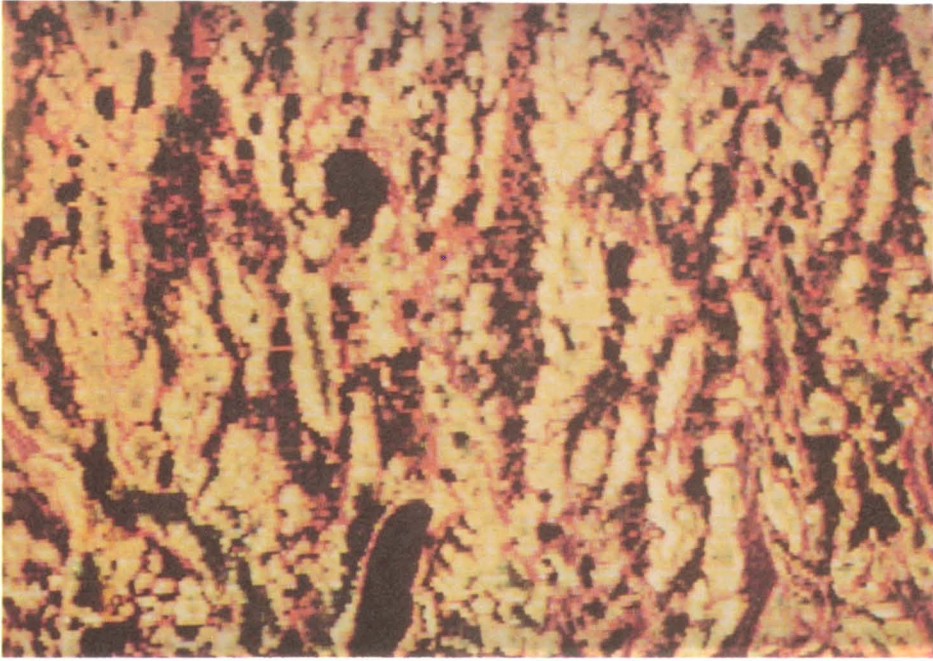


Figure 4.A. A portion of a Landsat scene showing the distribution of bogs (white-yellow) and fens (red-brown) over an upper till plateau area north of Kinoje Lake. B. The emerging till plateau surface over which a drainage pattern has developed such as is reflected in the distribution of bogs and fens in Figure 4A.

wetland types, with small fen areas along drainage channels. In total, approximately 65% of this unit is occupied by bog of different types. The fen component covers approximately 24% of the unit. The underlying material is stony and bouldery till which can be observed at the bottom of shallow lakes such as Little Kinoje Lake. Figure 4A is a portion of a Landsat scene showing the distribution of bogs and fens over an upper till plateau area north of Kinoje Lake. Figure 4B shows the emerging till plateau surface over which a more-or-less linear drainage pattern has developed, such as is reflected in the distribution of bogs and fens in Figure 4A.

### 2.2.2 *Intermediate plateau areas*

The areas of intermediate elevation within the plateaus are characterized by smaller lakes and shallower pools than occur at higher elevations, fewer and smaller treed bogs (occupying approximately 20% of the unit) and a greater number of fens of a larger size containing spruce islands, including patterned fens (occupying approximately 60% of the unit). The peat depth is in many areas between 1 m and 2 m. The underlying material is till.

### 2.2.3 *Lower plateau areas*

In areas of lowest elevation within a till plateau, fens occupy approximately 72% of the unit. Relatively few, small bogs occur (approximately 13% of the unit), along with shallow pools. The depth of peat is generally 1 m or less. Shallow pools with mud bottoms occur, some of which dry up in summer. There are greater accumulations of silt and clay in the underlying materials of the lower plateau areas than elsewhere on the till plateaus.

## 2.3 *Fluvially-modified accumulation basins*

Topographically, these are areas lower than their surroundings, within which there is a gradual decrease in elevation from the upper, inland portion toward the main drainage channel and toward the coast. These basins can be identified by the rivers flowing through them, such as Moose basin and Albany basin. These basins are composed of a sequence of post-glacial marine silt and clay deposits. The stratigraphy of the Moose basin, for example, has been described by Skinner (1973).

Physiognomically, the basins are dominated by extensive fens, fen channels, exten-

sive open sphagnum bogs and treed bogs which are commonly known as "blanket bogs", and coniferous swamps and forests along river levees.

Variations in drainage within the basins which give rise to a range of wetland types are caused by the following factors: 1) Topography: In areas where the gradual sloping is slightly more pronounced, the continuous, slow sheet movement of water provides nutrients for the development of fens. 2) Composition of underlying materials: The predominance of either clay or sand in the underlying soil causes differences in moisture retention at the surface which are reflected in the predominance of either blanket bogs or fens. Blanket bogs are extensive, elongated areas of open sphagnum and treed bog occurring between stream or river channels. Some have a slightly domed shape. Figure 5A is a portion of a Landsat scene showing an area of the Moose basin along the lower Kwataboahagan River where large blanket bogs have developed within extensive homogeneous fens, over silt and clay. Figure 5B illustrates the emerging surface of a small silt-and-clay-covered basin, with a characteristic drainage pattern, on which the homogeneous fens and blanket bogs of Figure 5A later develop. A visual comparison of the silt-and-clay surface with that of the till plateau surface (Fig. 3A) illustrates the basis for the difference in the wetland types which develop there. 3) Proximity to rivers: Steeply-sloping banks provide sufficient drainage along river levees for the development of coniferous swamps and coniferous forests. Extremely slight local variations in drainage along the levees determine whether swamps or forests occur.

### *Moose basin*

The Moose basin is the largest single physiographic unit of the James Bay lowland. Its wetlands are homogeneous over large areas. Blanket bogs cover approximately 45% of the basin; fens occupy approximately 44%; coniferous swamps and forests approximately 5%. Dean (1959) identifies almost the entire basin as the Moose marine plain, and distinguishes the Wawa lakes ridge as a subtype. Although the beach deposits bordering this feature suggest that it had its origin in a shoal or a bedrock-determined ridge, the present authors do not consider it significant enough to be distinguished as a separate physiographic unit.

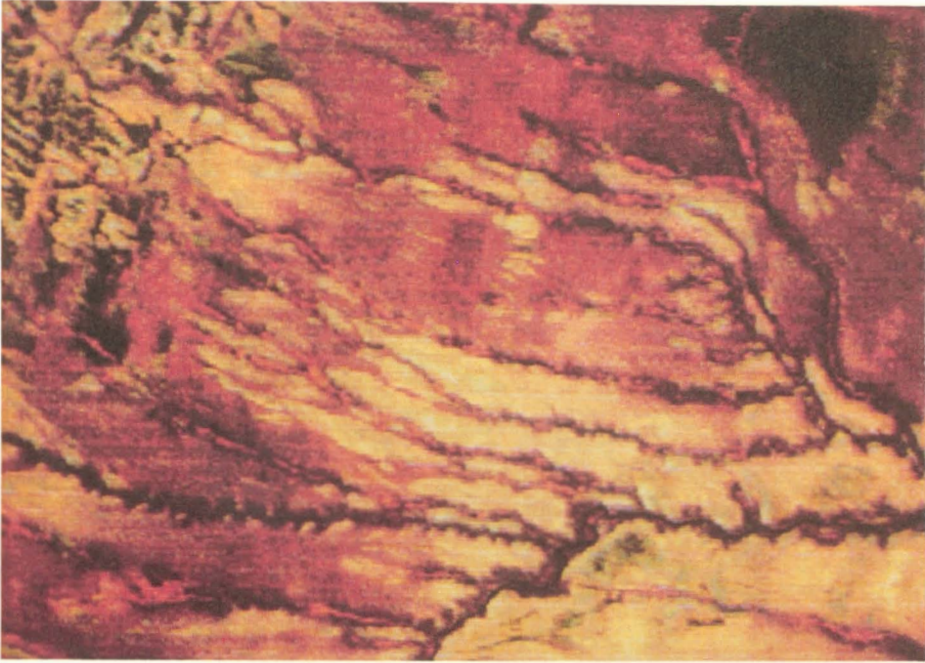


Figure 5.A. A portion of a Landsat frame showing an area of the Moose River basin along the lower Kwataboahagan River, where large blanket bogs (white-yellow) have developed within extensive homogeneous fens (red-brown), over silt and clay deposits. B. The emerging surface of a silt-and-clay-covered basin, with its characteristic drainage pattern, on which blanket bogs and homogeneous fens develop, as shown in Figure 5A.

Three topographically-determined subtypes occur within the fluviially-modified accumulation basins:

### 2.3.1 Plateau-basin transition slopes

The very gradual slopes between the till plateaus and the basin are characterized by the sheet movement of water in slow seepage toward the basin. The slopes are dominated by fens which form a sequence of parallel, wooded ridges oriented perpendicular to the water flow direction. The ridges vary from 0.5 m to 4 m in width, and are interrupted by spruce islands. Figure 6 is an aerial view of the plateau-basin transition slopes, showing the patterned fens and spruce islands.

Spruce islands were encountered in several areas of the lowland. They originated either from dome-shaped mounds lifted by ice pressure or from boulders pushed out of the till by ice pressure, on which sphagnum and other vegetation developed. This vegetation had the effect of insulating winter ice and creating ice lenses. The spruce islands on the plateau-basin transition slopes appear to be unique, however, in that they have formed around boulders which lie upon marine sediments, not upon till. It is possible that, when the plateau-basin transition slopes were still submerged, they went aground in shallow water over these slopes, subsequently melting and depositing boulders. An alternative possibility is that large blocks of ice formed along the shoreline during winter with boulders and stones from the till plateau frozen into them, floated out in summer, melted and deposited the boulders.

Various types of fen occupy more than 79% of the unit. Broad funnel-shaped forms composed of extensive patterned fens indicate the location of wide surface water collection channels. Among these channels, oval-shaped bogs have developed, occupying, however, only 7% of the unit.

### 2.3.2 Upper Kwataboahagan basin

The upper portion of the large Kwataboahagan basin is a cohesive unit unique in the lowland. Although at an intermediate elevation between the Kinoje till plateau and the basin, the unit resembles a basin in that it is covered by 2 to 3 m-deep marine deposits overlying till material. Rivers and streams have cut numerous shallow, flat-bottomed valleys with steep slopes through the marine deposits and into the till. Shrub-

rich open bogs are the dominant wetland type, with a peat accumulation of 2.5 m to 3.0 m. A few small fens occur, and there are narrow bands of forest along the river levees. A few lakes occur in the lower portion of the unit; their number increases with an increase in elevation. Figure 7 is a portion of a Landsat frame showing the entire upper Kwataboahagan basin.

### 2.3.3 River levee zones

The levees of abandoned and present drainage channels together constitute this physiographic unit. These are areas of fluvial erosion and subsequent deposition within till or marine deposits. Fluvial deposition is particularly marked within old drainage channels. The majority of the riverbanks are from 5 m to 10 m high. The significant characteristic of the river levee zones is the presence of mineral soil, either exposed at the surface or covered with a very shallow peat layer (20-30 cm). The vegetation is predominantly coniferous forest, with some deciduous forests on particularly well-drained areas. On the inland borders of the levees, coniferous swamps have developed.

### 2.4 Beach deposits

Ridges of beach deposits occur throughout the entire lowland from the 175 m contour to the present water level, and vary in size according to the topography of the area. Their most pronounced development occurs on top of and along the edges of plateaus and former islands — the areas which first emerged from water. The height of the ridges varies from 1 m to 7 m; the full depth of the deposits is often obscured by adjacent peat deposits of up to 3 m. Beach deposits are the major areas of mineral soil exposure in the James Bay lowland, consisting of sand and gravel washed out from the local till and deposited by wave action along former shorelines. Some beach deposits are quite extensive and create a unique environment amid the wetlands. A podzol soil profile has developed on them, which supports the growth of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb), black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) and, occasionally, aspen (*Populus tremuloides*).

Figure 8 shows the distribution of beach deposits in the southern James Bay lowland.

### 2.5 Coastal zone

The present coastal zone has only relatively recently been elevated above water by



Figure 6. An aerial view of the plateau-basin transition slopes, showing the patterned fens and spruce islands.

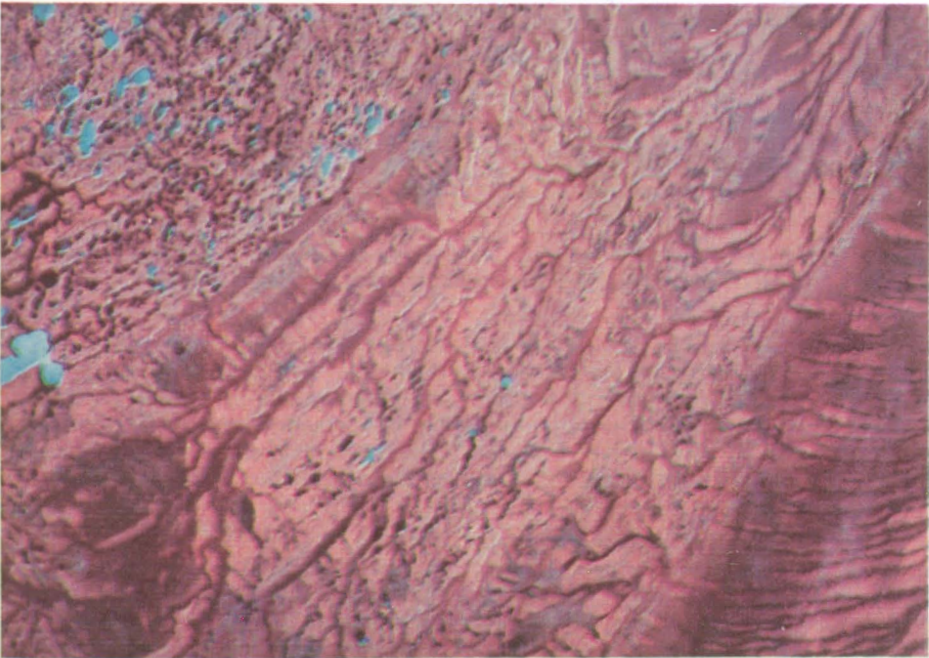


Figure 7. Portion of a Landsat frame showing the entire upper Kwataboahegan River basin. The difference between the Moose River basin (lower right corner) and the upper till plateau (upper left corner) is evident.

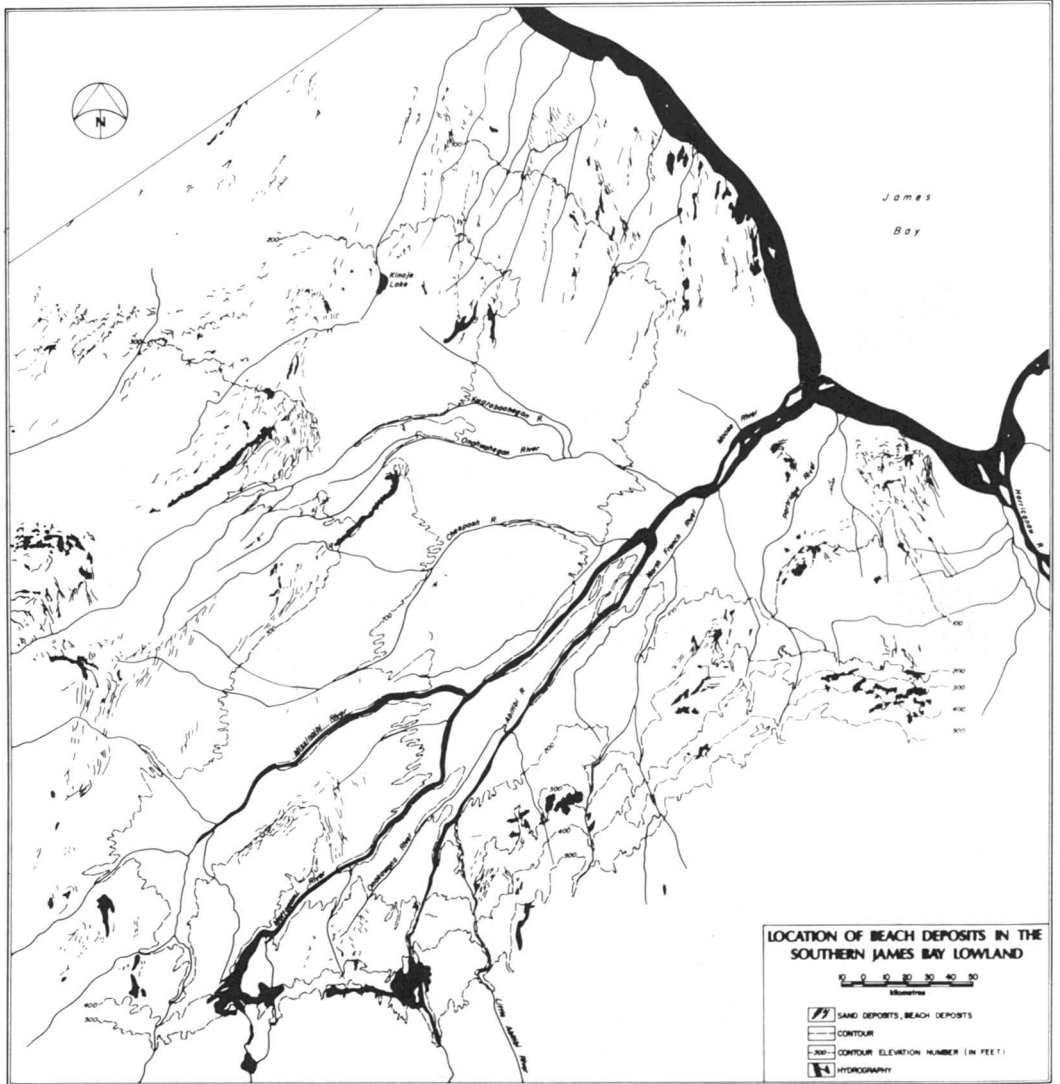


Figure 8. Location of beach deposits in the southern James Bay lowland.

the continuation of isostatic rebound. This zone consists of tidal flats, marshes, meadows and thickets, on which very little peat cover has accumulated. The tidal flats vary from 1 km to 5 km in width. Martini *et al.* (1980) provide a detailed description of this zone.

The zone of previous shorelines formed at the mouth of large rivers is also encompassed by this unit. Peat cover is 1.0 to 1.5 m, one of the shallowest peat layers encountered in the James Bay lowland. Open fen occupies 15% of the unit; treed fen dominated by short tamaracks occupies 75%. Within the fen at the mouth of the

Harricanaw River, tamarack ridges have developed along old shorelines, presenting the appearance of a patterned fen. Close to the present coastline, the ridges are covered with alders and shrubs as a result of the presence of mineral soil.

**Conclusion**

The classification scheme described in this paper provides, to some extent, an understanding of the causative relationship between physiography and wetland types. Work is currently underway to apply this framework over the entire Hudson Bay-James Bay lowland in Ontario through



the integration of results from the digital and visual analysis of Landsat data, the interpretation of aerial photography and field sampling. At more northerly latitudes, permafrost-related features will be incorporated into the classification system.

### Acknowledgments

The authors wish to acknowledge the extremely valuable contribution to the field work and to the formulation of a wetland classification framework made by Arthur Boissonneau of the Ontario Centre for Remote Sensing and John Riley of the Royal Ontario Museum.

### References

- COOMBS, D.B., 1954. The physiographic subdivisions of the Hudson Bay lowlands south of 60 degrees north. — *Geogr. Bull.*, no. 6, Geographical Branch, Department of Mines and Technical Surveys, 16 p.
- DEAN, W.G., 1959. Physiography and vegetation of the Albany River map area, northern Ontario: an aerial photographic reconnaissance. Unpublished Ph.D. thesis, McGill University, Montréal.
- HILLS, G.A., 1959. A ready reference to the description of the land of Ontario and its productivity. — Ontario Department of Lands and Forest, Division of Research, 142 p.
- HUSTICH, I., 1957. On the phytogeography of the subarctic Hudson Bay lowland. — *Acta Geogr.*, 16: 1.
- JEGLUM, J.K., A.N. BOISSONNEAU & V.F. HAAVISTO, 1974. Toward a wetland classification for Ontario. — Great Lakes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Information Report, no. 0-X-215. 54 p.
- MARTINI, I.P., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE, 1980. Geomorphology of southwestern James Bay: a low energy, emergent coast. — Pages 293-301 in S.B. McCANN (ed.). *The coastline of Canada*. Geol. Surv. Can., Paper no. 80-10, 439 p.
- PALA, S. & A. BOISSONNEAU, 1980. Biophysical classification of the Hudson Bay/James Bay lowlands. — Pages 68-75 in *Proceedings, Remote Sensing Symposium, Canada-Ontario Joint Forestry Research Committee*, Toronto, 189 p.
- SJÖRS, M., 1961. Surface patterns in boreal peatlands. — *Endeavour*, 20/80: 217-224.
- SJÖRS, M., 1963. Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario. — *Bull. natn. Mus. Can.*, no. 186, p. 45-133.
- SKINNER, R.G., 1973. Pleistocene stratigraphy of the Hudson Bay lowland — Pages 1-16 in B. Key (ed). *Proceedings, Symposium of the Physical Environment of the Hudson Bay lowland*, Guelph, Ontario, 16 p.
- ZOLTAI, S.C., F.C. POLLET, J.K. JEGLUM & G.D. ADAMS, 1975. Developing a wetland classification for Canada. — Pages 497-511 in *Proc. Fourth N. Am. Forest Soils Conf.* Québec, August 1973. Forest soils and forest land management, Presses de l'Université Laval, Québec.



## WETLAND CLASSIFICATION MAPS FOR THE HUDSON BAY LOWLAND

S. PALA and A. BOISSONNEAU

*Ontario Centre for Remote Sensing  
Ministry of Natural Resources  
880 Bay Street, 3rd Floor  
Toronto, Ontario*

### Résumé

Les basses-terres ontariennes de la baie d'Hudson s'étendent sur une superficie de 250 000 km<sup>2</sup>, de 50° à 56° de latitude nord et comprennent des zones sans pergélisol, à pergélisol intermittent et à pergélisol continu. Les terrains humides occupent 90% de la région et varient selon la physiographie, la présence de pergélisol et les conditions climatiques. Le Centre ontarien de télédétection a entrepris la classification et la cartographie de ces terrains humides en se servant de l'analyse digitale d'images de satellite en premier lieu, puis de photographies aériennes et de relevés de terrain. Les auteurs décrivent la procédure de classification des terrains humides, la technique de cartographie utilisée et présentent une carte de terrain humide analysée par les données du satellite Landsat.

### Abstract

The Ontario portion of the Hudson Bay lowland extends over an area of 250,000 km<sup>2</sup>, from latitude 50° N to latitude 56° N, and includes permafrost-free, discontinuous-permafrost and continuous-permafrost zones. Ninety percent of the region is composed of different forms of wetland, varying with physiography, the presence of permafrost, and hydrological conditions. The Ontario Centre for Remote Sensing has undertaken the classification and mapping of these wetlands, using digitally-analyzed satellite imagery as the primary data source, supported by aerial photography and field investigation. This paper describes the wetland classification scheme and the mapping technique employed, and includes a sample wetland map derived from the digital analysis of Landsat data.

### Introduction

The Ontario portion of the Hudson Bay lowland comprises an area of 250,000 km<sup>2</sup>, approximately 23% of the total area of the province. No detailed mapping has to date been performed encompassing the entire region. A number of recent developments have made feasible a project to map, at several scales, the patterns of wetland ecosystems of the entire study area. Notable among these developments are (1) the availability of excellent-quality Landsat data for the entire study area in both analogue and digital formats; (2) the availability of facilities at the Ontario Centre for Remote Sensing (OCRS) for the classification and delineation of wetland types using a supervised classification technique and a computer-based plotting system; (3) the feasibility of using helicopters to provide access to the field

investigation sites of the study area for a five-to-six-person, multidisciplinary field team.

The appropriateness of using Landsat data for this mapping project is revealed by a consideration of two postulations: 1. The reflectance values of a wetland ecosystem which are recorded by Landsat are a function of the surface water exposure and of the characteristics of the vegetation composing the ecosystem. 2. The vegetation is the feature of a wetland ecosystem which best expresses the resultant of all the transactions which have occurred among all the features of the ecosystem. An amplification of this theme may be found in Boissonneau & Pala (1979).

The initial phases of this project (the selection of sites to be investigated in the field, the planning of field work and collection of field data) have been described in Pala &

TABLE I

The wetlands classification framework for the Hudson Bay lowland used in this project

**BOG**

## Peat plateau

## Treed peat plateau

- (1)<sup>a</sup> Treed peat plateau with shrubs<sup>b</sup>, lichen-rich<sup>c</sup>  
 (2) Treed peat plateau with shrubs

## Open peat plateau

- (3) Open peat plateau with shrubs, lichen-rich  
 (4) Open peat plateau (resulting from fires)

## Treed bog

## Treed bog not underlain by permafrost

- (5) Treed bog with shrubs  
 (6) Treed bog with shrubs, lichen-rich  
 (7) Patterned treed bog with shrubs and waterbodies

## Treed bog underlain by permafrost

- (8) Palsas with treed bog

## Open bog

- (9) Open bog with shrubs  
 (10) Open bog with shrubs, lichen-rich  
 (11) Open, graminoid bog  
 (12) Open, *Sphagnum* bog  
 (13) Patterned open bog with waterbodies

**FEN**

## Fen not underlain by permafrost

## Treed fen

- (14) Shrub-rich or graminoid-rich treed fen

## Open fen

- (15) Open fen with shrubs  
 (16) Open fen with graminoids  
 (17) Patterned open fen with ribs and flarks

## Fen underlain by permafrost

- (18) Open fen with shrubs  
 (19) Open fen with graminoids  
 (20) Open fen with graminoids and small incipient palsas  
 (21) Patterned fen with peat plateaus and fen pools

**SWAMP**

- (22) Thicket swamp  
 (23) Black spruce swamp  
 (24) Tamarack swamp

**MARSH**

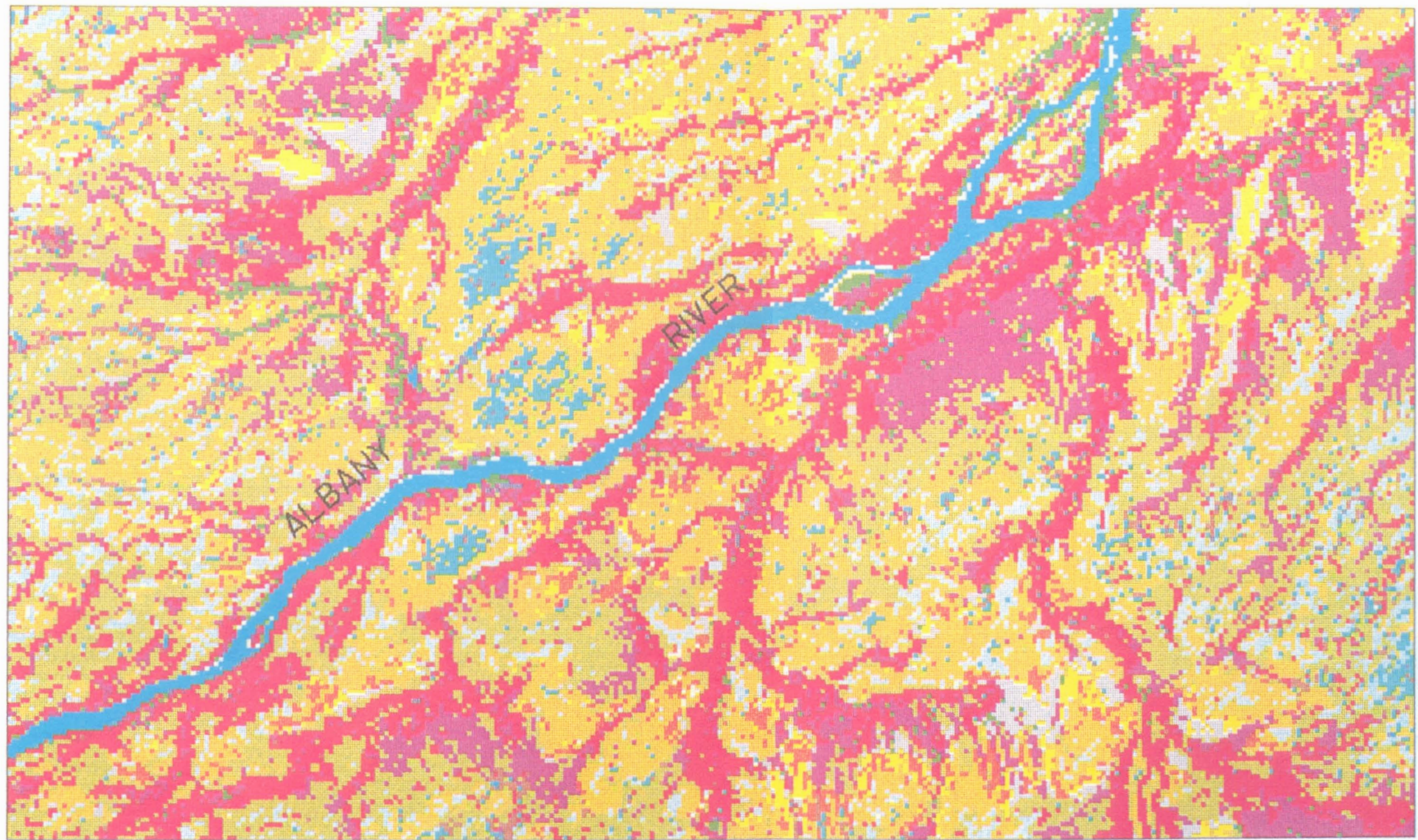
- (25) Freshwater marsh with emergent vegetation  
 (26) Intertidal marshes, pools and mud flats  
 (27)<sup>d</sup> Supertidal meadow marshes and thickets

<sup>a</sup> Wetland types used in mapping are numbered consecutively from 1 through 27.

<sup>b</sup> Though it is ecologically desirable to recognize two shrub classes, that is, low shrubs 135 cm tall and shrub-rich with shrubs 135 cm to 180 cm tall, only one class can be recognized by the remote sensing mapping methodology used.

<sup>c</sup> Because lichens are an important element of caribou range, lichen-rich types are recognized, although the type is classified on the basis of taller strata of vegetation.

<sup>d</sup> Since waterbodies are mapped, patterns of wetland types and waterbodies are apparent on the maps.



## GHOST RIVER SW 42-0

WETLAND TYPES OF HUDSON BAY LOWLANDS DERIVED FROM LANDSAT ANALYSIS  
 PREPARED AT O.C.R.S. BY S.PALA AND A. BOISSONNEAU

SCALE 1:250000

MULTICLASSIFIED    UNCLASSIFIED

- WATER
- TREED BOG WITH POOLS AND STRINGS
- TREED BOG
- OPEN LICHEN-RICH BOG

- OPEN BOG WITH POOLS AND STRINGS
- OPEN GRAMINOID BOG
- OPEN SHRUB-RICH BOG
- OPEN SPHAGNUM BOG

- TREED FEN
- PATTERNED FEN
- SAND BARS ALONG RIVERS
- OPEN GRAMINOID FEN WITH SURFACE WATER

- OPEN GRAMINOID FEN
- BLACK SPRUCE ALONG RIVERS
- HARDWOOD AND THICKET

Boissonneau (1980). The purpose of this paper is to provide an example of the mapping phase of this project, both illustrating the achievements to date, and future plans.

### Wetland classification framework for the Hudson Bay lowland

The classification framework established for the study area as a whole, presented in Table I, follows the concept of Jeglum *et al.*, (1974). For wetland ecosystems in which development trends are significantly influenced by permafrost, however, permafrost landforms are used in addition to vegetation to classify the wetlands. This classification framework also follows Riley (1982), insofar as the vegetation types which he derived from the Hudson Bay lowland field data could be identified using the mapping procedure employed in this project.

In mapping the wetland types of the individual 1:250,000-scale map sheets of the study area, this wetland classification framework is not rigidly applied. If the wetland ecosystems of a map sheet can be mapped in more detail than is provided in the classification framework, this detail is not sacrificed in the interests of a strict uniformity of wetland classification framework throughout the study area. A maximum of 16 themes, the total number possible from two computer theme files, has been judged adequate for any individual map sheet. More detail not only results in an image confusing to the eye, but introduces a greater possibility of error into each theme. It may be necessary to group certain wetland types of the classification framework to avoid exceeding the total of 16 themes.

In the portion of the continuous permafrost region which occurs in Ontario, peat plateau is the most widespread landform. From drilling samples obtained for this study, it was observed that permafrost was confined almost exclusively to the peat stratum and that the usual 1 to 3 m rise of the plateau is due to the freezing of the water content of the peat. Since there is no mixing of peat and surficial geologic materials at their interface, it is apparent that the permafrost has developed following the accumulation of peat. Wetland types 1 to 4 and 18 to 20 of the classification framework are found in this region.

In the portion of the region of discontinuous permafrost in Ontario, permafrost is

found occasionally in bog and fen formations. Wetlands 8 and 20 are those types which occur in this region.

In order to make the features of the wetland types of this classification framework more concrete for the reader, the following brief notes are provided. The provisional nature of this specification of the types of this classification framework is considered in the final section of this paper.

*Type 1* (Treed peat plateau with shrubs, lichen-rich) has a stunted black spruce tree storey with a cover value exceeding 10%, composed of trees less than 10 cm d.b.h., a Labrador tea shrub stratum and a ground cover of lichens. This type is always underlain by permafrost.

*Type 2* (Treed peat plateau with shrubs) is similar to type 1, but has a scant cover of lichens. It may prove feasible to recognize a peat plateau with black spruce woodland composed of trees exceeding 10 cm d.b.h. and having a diameter of 10 cm or more at a point 5.2 m above ground level.

*Type 3* (Open peat plateau with shrubs, lichen-rich) has a tree storey with a cover value of less than 10%, a significant cover of Labrador tea shrubs and a luxuriant ground cover of lichens.

*Type 4* (Open peat plateau resulting from fires). Peat plateaus which have been burned over are readily mapped, and, since a considerable time will doubtless elapse before a living lichen cover is re-established and the value of the site as caribou range restored, it is useful to recognize this type.

*Type 5* (Treed bog with shrubs) has a stunted black spruce tree storey with a cover value exceeding 10%, composed of trees less than 10 cm d.b.h.; physiognomically, therefore, type 5 is the same as type 2. Type 5 occurs in the region of discontinuous permafrost, and, therefore, is not underlain by permafrost except for occasional, isolated lenses of frozen peat.

*Type 6* (Treed bog with shrubs, lichen-rich) is physiognomically similar to type 1, but occurs in the region of discontinuous permafrost, and, hence, is underlain by only occasional, isolated lenses of frozen peat. The lichen cover gives it a higher potential as caribou range than type 5.

*Type 7* (Patterned treed bog with shrubs and waterbodies). Treed bog occurs on ribs which are the dominant component of this

landscape. This treed bog is the same as type 5. Pools and small lakes which are too small to be recognized as waterbodies on the 1 : 250,000-scale wetland maps occur in the intervening areas between the ribs.

*Type 8* (Palsas with treed bog). These tree-covered palsas are small segments of peat plateau, but are significantly larger than palsas which occur within fens. They occur primarily in the discontinuous permafrost zone. They have a sufficiently dry surface peat to support a stand of stunted black spruce with trees less than 10 cm d.b.h. The black spruce has a cover value exceeding 10%.

*Type 9* (Open bog with shrubs). Trees, if present, have a cover value of less than 10%. There is a significant shrub stratum which is usually leather-leaf.

*Type 10* (Open bog with shrubs, lichen-rich) is similar to type 9, but has a higher value as caribou range, since it has a significant cover of lichens.

*Type 11* (Open, graminoid bog) has a scant cover of shrubs, but a significant cover of graminoids which are usually the sedge *Carex oligosperma* and the cotton grass (*Eriophorum spissum*).

*Type 12* (Open, *Sphagnum* bog). This type lacks a significant cover of both shrubs and graminoids so that it is characterized by its *Sphagnum* moss ground cover.

*Type 13* (Patterned open bog with waterbodies) consists of a patterned bog with ribs which support an open bog type similar to those of types 9 to 12, and which form the dominant component of the pattern. There are narrow pools, varying in length, in the intervening areas between the ribs, which are the same as the pools described in type 7.

*Type 14* (Shrub-rich or graminoid-rich treed fen) has a tamarack tree storey with a cover value exceeding 10%. The tree storey is, in fact, usually quite dense, so that it is not possible to map the shrub-rich treed fen and graminoid-rich treed fen.

*Type 15* (Open fen with shrubs) Tamarack, if present, has a cover value of less than 10%. The fen lacks a distinct pattern of ribs and intervening flarks, and has a significant cover of dwarf birch.

*Type 16* (Open fen with graminoids) also lacks a distinct pattern of ribs and flarks.

It has a scant cover of shrubs, but a significant cover of graminoids.

*Type 17* (Patterned open fen with ribs and flarks) is a distinctly-patterned fen with treed bog or dwarf birch on the ribs, and graminoids or pools in the flarks.

*Type 18* (Open fen with shrubs). A dwarf birch shrub stratum is the uppermost stratum of vegetation, since tamarack, if it is present, does not exceed a cover of 10%. The ground cover is composed of brown mosses. This type is physiognomically similar to type 15, but it occurs in the region of continuous permafrost.

*Type 19* (Open fen with graminoids) is generally a more immature fen than the preceding type, usually with surface water. The tallest vegetation stratum with a significant cover is a graminoid layer. This type is also underlain by a continuous stratum of permafrost.

*Type 20* (Open fen with graminoids and small incipient palsas) is similar to type 17, but occurs in the regions of discontinuous and continuous permafrost. Permafrost action has pushed up small mounds of peat from the surficial layer of the fen peat stratum so that they emerge from the water as tiny islands of dead, blackish-coloured moss.

*Type 21* (Patterned fen with peat plateaus and fen pools). This type is a peat plateau in which extensive melting of permafrost and slumping have created a series of pools which have become connected to form an intricate pattern of fen drainage ways.

*Type 22* (Thicket swamp) is composed of thickets more than 1.8 m tall, usually of willow and alder. This type generally occurs on riparian areas which are subject to ice scour during break-up.

*Type 23* (Black spruce swamp). The black spruce tree storey exceeds 10% cover and the trees exceed 10 cm d.b.h., with a diameter of 10 cm or more at 5.2 m above ground level. This type is associated with river levees.

*Type 24* (Tamarack swamp) may not occur in significant amounts in the study area, or it may not be possible to distinguish it from type 14.

*Type 25* (Freshwater marsh with emergent vegetation) occurs near the shores of some inland lakes, and is characterized by rush and reed emergent vegetation. It may include a zone of floating vegetation.

Type 26 (Intertidal marshes, pools and mud flats) is predominantly unvegetated mud flats, but includes meadows of goose grass, mare's tail and pools.

Type 27 (Supertidal meadow marshes and thickets). Influenced only by the highest tides, this type is predominantly grass meadows with *Salix* species, especially along the Hudson Bay coastline.

### Map production

The primary data source for the production of wetland maps is Landsat data. Data used to support the Landsat analysis are as follows: existing 1:60,000-scale black and white aerial photography available from the National Air Photo Library; 35 mm and 70 mm large-scale colour photography obtained during the field survey; ground photography of the sample sites; botanical records and measurements of habitat parameters made in the field.

It was determined that Landsat imagery from July and August permitted recognition of the greatest number of wetland types. In cases where the reflectance of one wetland type confused it with another type on the same image, the season of imagery during which the distinction between the types was most pronounced was employed, in conjunction with the summer imagery.

Landsat computer-compatible tapes (CCT's) were geometrically corrected using 1:250,000-scale map sheets for registration. The pixels were resampled to give an area coverage of 50 m × 50 m. The maximum tolerable error was established as two pixels; in general, however, the objective was a deviation of no more than one pixel (50 m).

For a map sheet area for which coverage is provided by two adjacent satellite passes, development of software to mosaic the frames digitally has begun. In the event of seasonal differences between two adjacent frames, each image is classified separately, and the analysis results digitally joined. It is anticipated, however, that some operator interaction may be required to create a "good fit" along the joined borders.

The wetland classification was carried out using a supervised maximum-likelihood algorithm. To avoid producing a map confusing to the eye, distinct features consisting of fewer than five pixels were generalized into the larger surrounding theme.

The beach deposits in the lowlands, covered with trees and/or lichens, are easily confused with wetland types during digital analysis of the Landsat data. The wetland types which they resemble differ with geographic location, degree of forest cover and incidence of forest fire. The digital separation of beach deposits is, therefore, accomplished by a special technique. The OCS has produced maps of all beach deposits (using visual interpretation of 1:60,000-scale airphotos), as part of the completion of surficial geology mapping for northern Ontario. These features are digitized and transferred to the digital analysis display. The pixels in the display corresponding to beach deposit areas are subtracted and replaced by the manually-digitized beach deposit data, and the result printed.

The maximum number of themes contained in a single map has been limited to 16. This level of classification detail is thought to provide a representation of existing wetland types adequate for most purposes. Further data could, of course, be provided at a larger scale, for special purposes. The maps will be published at a scale of 1:250,000. Supplementary maps will be made available, on request, at scales of 1:100,000 and 1:50,000. Although these maps present the same amount of detail as that shown on the published map, because of the larger scales of representation, they provide a clearer visual impression of the mosaic of wetland types within the local area of the map sheet.

### An example of the wetland mapping project

The Ghost River map sheet (42-0) was selected to serve as an example of the wetland mapping project. For this sheet, the data of 60 field investigation sites and interpretation of wetland types on 1:60,000 and large-scale 70 mm airphotos were used in the supervised classification of the pixels of a Landsat tape recorded on 17 July, 1978. The twelve wetland types selected for representation on this map were chosen with a view to provide as much detail of the wetland types as possible. The selection was restricted by the limitation of the total number of map themes to 16, and limitations on the number of wetland types which can be recognized from the Landsat tapes. Waterbodies which can be recognized on the 1:250,000-scale Ghost River map provide a



topographic orientation reference within the map and indicate wetland types which are associated with larger waterbodies. The treed bog with pools and strings, open bog with pools and strings, and patterned fen wetland types described below are associations of wetland types with waterbodies which are smaller than those recognized on 1:250,000-scale maps. The program for delineating relict beaches is not yet available, so that it was not possible to delineate this non-wetland category on the map. The beach ridges will be incorporated before the map is published in its finalized form. In addition to waterbodies and relict beaches, two other non-wetland categories mapped are sandbars along rivers and upland hardwood and thicket which occur on sand banks and on the best-drained portions of river levees.

Twelve wetland types appear on the legend of the attached 1:250,000-scale colour wetland map of the Ghost River map sheet. The peat depths and pH values given are averages of the values obtained at field investigation sites located in these wetland types.

Two types of TREED BOGS have been recognized. The most widespread has a uniform cover of stunted black spruce which does not exceed 10 cm d.b.h. No significant area of waterbodies is included. The peat depth is 2.6 m and the pH 4.6. The TREED BOG WITH POOLS AND STRINGS type is a patterned bog with black spruce treed bog ribs and intervening pools too small to be recognized on the published map as waterbodies. This category of treed bog has been recognized because the small, isolated islands it contains provide a higher potential for Canada goose nesting sites than the unpatterned treed bog.

In the OPEN BOG class, five wetland types are recognized. It is important to recognize OPEN BOGS WITH SHRUBS AND LICHENS because of their value as caribou range. The shrubs are mostly leather leaf, the peat depth 2.3 m and the pH value 3.7. OPEN BOGS WITH POOLS AND STRINGS have ribs of *Sphagnum* or graminoid bog with intervening bog pools which are too small to be mapped as waterbodies. It is important to recognize this open bog type, as it provides a higher potential for Canada goose nesting sites than any other wetland type in the open bog class. The peat depth is 2.8 m. The dominant graminoid stratum of GRAMINOID BOGS provides some wildlife habitat value.

The most common graminoids are the sedge (*Carex oligosperma*) and the cotton grass (*Eriophorum spissum*). The peat depth is 2.6 m and the pH 3.6; hence, graminoid bog ranks with open bog with shrubs and lichen as the most acid of the open bog category. OPEN BOG WITH SHRUBS consists of a dominant leather leaf and dwarf black spruce stratum which may overtop a graminoid stratum, and overtops the *Sphagnum* ground cover. The peat depth is 2.4 m and the pH 4.5. OPEN SPHAGNUM BOG lacks a significant stratum of either shrubs or graminoids, so that it is characterized by its *Sphagnum* ground cover.

The TREED FEN invariably has such a dense cover of tamarack that its spectral signature is determined by the tree storey; it is not possible, therefore, to distinguish between the ecologically-significant shrub-rich treed bog and the graminoid-rich treed bog types. It is believed that, in this treed fen type, the tamarack does not exceed 10 cm d.b.h., but some tamarack swamp may be included. The peat depth averages 2 m, but 1.5 m of peat is commonly found in fens where *Sphagnum* moss has not become established. The pH is 5.0. PATTERNED FEN has either treed fen or open fen with shrubs on its ribs, and open, graminoid or low shrub fen associated with fen pools (too small to be indicated as waterbodies on the map) in the intervening flarks. It is separated from the treed and open fen types because of its higher potential for providing Canada goose nesting sites. Because it has only a sparse, emergent graminoid cover, OPEN, GRAMINOID FEN WITH SURFACE WATER is not as attractive to wildlife as the open, graminoid fen with the water level beneath the peat surface. Hence, it has been recognized as a separate wetland type. Both types have a peat depth of 2 m and a pH of 5.5.

BLACK SPRUCE ALONG RIVERS is predominantly black spruce swamp, but includes some treed bog in the transition area where black spruce swamp on the river levees grades into open bog or treed fen further inland.

### Conclusion

The wetland classification framework for the entire study area which is presented in this paper is an early approximation which will be continuously revised as the 1:250 000-scale wetland maps for the study area are completed. In addition, the results of the

vegetation ecology studies of Riley (1982) for the study area will be more integrated into the wetland classification framework.

At this time, the maximum number of themes per map that can be handled is 16. As the mapping progresses, it may become imperative to handle more than 16 themes per map sheet. Maps of larger and smaller scales than the published map can be readily made available for specific studies. These maps fall into two categories. First, for some areas, the field data supplemented by wetland type interpretation from available remote sensing imagery can provide a sufficient basis for the completion of the wetland map. The 1 : 100,000 and 1 : 50,000-scale maps which have been produced for the Ghost River map sheet are examples of this category. Secondly, there will be maps which require more detailed information, as

obtained through additional field data and possibly additional remote sensing imagery.

### References

- BOISSONNEAU, A. N. & S. PALA, 1979. An ecological classification project for the Ontario portion of the Hudson Bay-James Bay region. — Pages 67-71 in C.D.A. Rubec (ed.), 2<sup>nd</sup> Meeting, Can. Com. Ecol. Land Classif., 90 p.
- JEGLUM, J.K., A.N. BOISSONNEAU & V.F. HAAVISTO, 1974. Towards a wetland classification for Ontario. — Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ontario, Inf. Rep. O-X-215: 54 p.
- PALA, S. & A. BOISSONNEAU, 1980. Biophysical classification of the Hudson Bay/James Bay lowlands. — Pages 68-75 in Proceedings, COJFRC Symp. on Rem. Sens., O-P-8, Great Lakes Forest Research Centre, Sault Ste. Marie, Ontario, 189 p.
- RILEY, J.L., 1982. Hudson Bay lowland floristic inventory, wetlands catalogue and conservation strategy. — *Naturaliste can.*, 109: 543-555.



## APPLICATION DE LA CARTOGRAPHIE ÉCOLOGIQUE À LA LOCALISATION ENVIRONNEMENTALE D'UN RÉSEAU ROUTIER

N. FORTIN<sup>1</sup>

*Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec*

et

P. LEGENDRE<sup>2</sup>

*Centre de recherches en sciences de l'environnement,  
Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec*

### Résumé

Le Moyen-Nord québécois est actuellement le siège de vastes développements hydro-électriques et d'une exploitation minière croissante qui exigent l'implantation d'infrastructures importantes. Les décisions relatives aux corridors routiers y demeurent celles d'agences qui utilisent une rationalité sectorielle. Cependant peut-être serait-il plus avantageux de considérer ces corridors comme multifonctionnels. Aussi un modèle décisionnel permettant d'adopter ce type d'approche intégrée a été proposé et appliqué à la région de Matagami. Ce modèle prend la forme d'un système informatisé de traitement des données géographiques, qui possède des capacités de cartographie, d'extraction et d'assemblage. La simulation par ordinateur sert à produire des modèles environnementaux sectoriels ou composés à partir desquels plusieurs problématiques origines-destinations génèrent différentes propositions de réseau routier. Les diverses options peuvent alors éclairer les choix des gestionnaires.

### Abstract

In Québec northern regions, large hydroelectric developments and increasing mining activities are requiring sizeable infrastructures, specifically in terms of transportation network. The decisions concerning highway corridors are now those of agencies who apply their single-sector strategy, which may not always be most beneficial. Instead, a multiple-use corridor approach is proposed and a decision-making model is applied to the Matagami area. The model is embodied in a computerized system which relies mainly on an ecological mapping data base. This tool has graphical display, retrieval and assembling capabilities. It uses minimum path analysis to perform corridor selection. Simulations then result in series of corridor alternatives related both to sector-based and combined classifications, and to several sets of origins-destinations. These results can be use by decision-makers to evaluate relevant route choices.

### Introduction

Ces dernières années, à cause des projets hydro-électriques de grande envergure qui y ont cours, le territoire de la baie James a fait

l'objet d'études écologiques extensives. Nous possédons maintenant, sur le milieu biogéophysique en particulier, une somme impressionnante d'informations, dont celles qui proviennent de la cartographie écologique du Service des études écologiques régionales (Environnement Canada) (Ducruc, 1980) et qui sont accessibles sous forme de données informatisées. Par ailleurs, le texte d'orientation du développement et de l'aménagement de ce territoire (Société de Développement de la Baie James, 1980) nous livre

<sup>1</sup> Adresse actuelle: Institute of Animal Resource Ecology, University of British Columbia, Vancouver, B.C. V6T 1W5

<sup>2</sup> Adresse actuelle: Département de sciences biologiques, Université de Montréal, C.P. 6128 Succ. A, Montréal, Québec H2C 3J7

un inventaire des activités socio-économiques qui y prennent place, complétant l'ensemble des connaissances requises par un exercice de planification environnementale. La diversité de ces activités dans la sous-région de Matagami justifie une approche de développement multisectorielle; la nécessité d'y établir des infrastructures routières nous a procuré les ingrédients d'une problématique environnementale.

Nous nous sommes donc proposés de fournir aux gestionnaires un outil scientifique leur permettant d'adopter une approche intégrée quant à la localisation du réseau routier. Cet outil veut assurer une voix aux préoccupations écologiques; d'une façon plus utopique, il voudrait servir d'instrument de communication entre les différents intervenants et favoriser la participation publique. Ces aspirations placent l'étude dans la lignée des méthodologies d'évaluation d'impact (Munn, 1979). Cependant, nous avons limité notre analyse du système régional à la construction d'un modèle décisionnel heuristique orienté vers l'aménagement de l'environnement biogéophysique alors que seul un modèle explicatif conduirait à une véritable prédiction d'impacts. Si nous devons situer notre démarche dans le cheminement scientifique, nous voudrions qu'elle participe à la recherche d'un paradigme-synthèse ou paradigme-chapeau qui suggérerait les liens à établir entre les paradigmes des différentes disciplines, ceci à travers l'examen de systèmes réels, plutôt qu'à l'aide d'une théorie générale.

La construction d'un tel modèle débute par la description du système de développement régional, afin de percevoir le réseau routier dans son contexte plus global et de reconnaître les facteurs intervenant sur ce réseau. La région de Matagami est une région-ressource où les secteurs miniers et forestiers ont une influence prépondérante sur la construction routière et sur les établissements humains qui constituent leur bassin de main d'œuvre. De plus, les infrastructures de transport dues à l'industrie minière améliorent l'accessibilité et les possibilités de développement du territoire, influençant ainsi les secteurs de la forêt, du tourisme et des activités traditionnelles. Les routes de pénétration forestières favorisent en retour l'exploration minière. Les liaisons avec les établissements humains régionaux et extra-régionaux, et leurs industries de transformation s'imposent comme des facteurs exogènes déterminants.

Ensuite, nous nous attachons à définir le cadre conceptuel et spatio-temporel du modèle à construire. Pour décrire le réseau de transport, nous avons retenu les notions de pôles et de liens entre ces pôles, qui nous permettent de nous servir des éléments de la théorie des graphes pour aborder la question du réseau de distance minimale (Haggett & Chorley, 1969, p. 115). Nous assumons acquis les choix des pôles, ou encore nous simulons ces choix à l'aide de différentes problématiques origines-destinations. Le modèle s'occupe alors de la localisation des liens: ils devront passer sur la portion de territoire la plus *favorable* au sens des valeurs environnementales et développementales. Cette acception du concept d'environnement, qui nous pousse à utiliser non seulement des critères techniques et écologiques pour obtenir des classifications territoriales, mais aussi des objectifs socio-économiques a été utilisée de façon similaire par Turner (1976 a, b). Nous avons retenu des classifications ou potentiels (potentiel minier, par exemple) plutôt *absolus* au sens où ils retiennent des caractères à peu près incontestables et possèdent des limites temporelles étendues.

Le territoire à l'étude s'étend de la ville de Matagami à la frontière ontarienne et couvre près de 10 000 km<sup>2</sup> entre le 49° et le 50° parallèle, ce qui nous conduit à employer une échelle de 1:250 000. Il est clair que le choix d'une échelle spécifique est l'une des limites les plus restrictives du modèle. Les pôles, origines ou destinations (fig. 3: voies de transport actuelles et projetées), nous sont imposés par les villes de Matagami (M) et Joutel (J); les mines: Selco (S), Amoco (A), Phelps Dodge (B); les terminaisons des réseaux existants: Amos (O), Lasarre (L), Val-Paradis (P) et Villebois (V), auxquels s'ajoutent comme hypothèses de travail le site de villégiature (E), les points (C) et (D) en vue de liens éventuels vers le complexe Nottaway-Broadback-Rupert et Label-sur-Quévillon.

### Matériel et méthodes

Puisque le modèle que nous construisons se voudrait être un outil décisionnel, il doit s'appuyer sur les données disponibles. Bien qu'idéalement le support des analyses environnementales régionales devrait être assuré par un système d'information géographique, certaines lourdeurs logistiques nous ont empêchés d'utiliser le système canadien (SIGEC,

Canada, 1977a). Cependant ce système dispose d'un potentiel de soutien intéressant pour ce genre d'études (Griffith, 1980) d'autant plus qu'il inclura sous peu la cartographie écologique. Nous avons donc monté une banque spécifique au territoire à l'étude, qui rassemblait des données de sources diverses (tableau I). Nous avons choisi la représentation géographique qui divise l'aire étudiée en carrés de 1 km de côté, appelés *pixels*; elle se révélait avantageuse au niveau de la codification, des opérations d'analyse et de recherche des corridors routiers.

Les données dont nous disposons, en plus d'être de nature géographique, ce qui suppose des relations de proximité et de continuité encore mal étudiées, ont aussi la particularité d'être de nature qualitative-quantitative: il s'agit de classifications. Aussi, afin de les regrouper adéquatement, nous devons posséder non seulement la compréhension de leur origine, de leur nature et de leur description mais aussi celle de leur niveau de signification, en rapport avec la plage de variation, les seuils critiques et la répartition spatiale. Ces considérations

TABLEAU I

Liste des données disponibles

<p><i>Des cartes du Service des études écologiques régionales (SEER — Environnement Canada) (cartes écologiques)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— potentiel pour le lagopède</li> <li>— potentiel pour l'original</li> <li>— potentiel récréatif des écosystèmes aquatiques</li> <li>— attrait du paysage</li> <li>— récréation dans la nature</li> <li>— taux de matière organique</li> <li>— turbidité</li> <li>— susceptibilité à la sécheresse</li> <li>— potentiel forestier</li> <li>— potentiel des mélangés jeunes</li> <li>— potentiel pour les lichens</li> <li>— aptitude générale pour divers travaux relevant de l'ingénierie</li> <li>— types de terrain pour l'ingénierie</li> <li>— régime hydrique des sols</li> <li>— aptitude pour l'installation de fosses septiques</li> <li>— aptitude pour la construction domiciliaire</li> <li>— aptitude des matériaux pour la construction des routes</li> <li>— aptitude à la « traficabilité »</li> <li>— risques d'érosion des sols</li> <li>— risques d'éboulis</li> <li>— risques de sédimentation des cours d'eau</li> <li>— risques de chablis</li> </ul>
<p>VARIABLES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— relief</li> <li>— épaisseur des matériaux meubles</li> <li>— matériaux géologiques de surface               <ul style="list-style-type: none"> <li>● nature et origine</li> <li>● morphologie</li> </ul> </li> <li>— catégorie d'écosystème aquatique</li> <li>— abondance des ruisseaux</li> <li>— abondance des terrains humides (« wetlands »)</li> <li>— types écologiques               <ul style="list-style-type: none"> <li>● roche-mère pédologique</li> <li>● drainage</li> </ul> </li> </ul> <p><i>Caractéristiques morphométriques des plans d'eau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— lacs               <ul style="list-style-type: none"> <li>● découpage du périmètre</li> <li>● pente de la beine</li> </ul> </li> <li>— rivières               <ul style="list-style-type: none"> <li>● découpage des berges</li> <li>● présence de rapides</li> </ul> </li> <li>— lacs et rivières               <ul style="list-style-type: none"> <li>● pente des rives</li> <li>● système de drainage et profondeur</li> <li>● matériaux géologiques de surface des rives</li> </ul> </li> </ul>	<p><i>Des cartes du ministère de l'Énergie et des Ressources (MER — Québec) anciennement du ministère des Richesses Naturelles)</i> (carte des ressources minérales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— géologie de la roche en place</li> <li>— minéralisation</li> </ul> <p>(carte de géologie superficielle)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— dépôts de surface</li> </ul> <p>(anciennement du ministère des Terres et Forêts) (carte des classes de volume des essences forestières)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— volumes forestiers</li> </ul> <p>(carte synthèse forestière)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— essences forestières par classes d'âge</li> </ul> <p><i>Des cartes de la municipalité de la Baie-James</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— voies de transport actuelles et projetées</li> </ul>
<p>FACTEURS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— potentiel pour le brochet</li> <li>— potentiel pour la truite grise</li> <li>— potentiel pour le corégone</li> <li>— potentiel pour la truite mouchetée dans les lacs</li> <li>— potentiel pour la truite mouchetée dans les rivières</li> <li>— potentiel pour la ouananiche</li> <li>— potentiel pour le doré jaune</li> <li>— potentiel pour le lièvre</li> <li>— potentiel pour le rat-musqué</li> <li>— potentiel pour la sauvagine</li> <li>— potentiel pour le castor</li> <li>— potentiel pour la loutre</li> <li>— potentiel pour le vison</li> </ul>	

sont essentielles à l'analyse des synthèses interprétatives provenant des cartes écologiques. En fait, la clé de voûte de l'étude réside dans l'agencement et le regroupement des données de base. Cependant, l'accent portera davantage sur la méthodologie qui guide ce travail que sur la valeur des pondérations ou des choix. En effet, seul un cheminement rigoureux et structuré permet de traiter et de simplifier des problèmes complexes et c'est sur cette méthode que nous voulons insister.

La stratégie utilisée se présente comme une troisième voie dans la planification environnementale des corridors routiers. Le problème comprend normalement deux parties : (1) la question de la *recherche* qui consiste à générer des options suffisamment attrayantes pour qu'elles justifient une évaluation d'impacts et (2) la question du *choix* qui consiste à ordonner ces options suivant les impacts prédits (Manheim, 1968). La présente approche génère plutôt immédiatement les corridors provenant des choix ; elle applique pour cela un principe de décomposition hiérarchique. Ce principe correspond d'ailleurs en partie à celui qui sous-tend la cartographie écologique employée où les propriétés homogènes des unités spatiales sont retracées au moyen de hiérarchies imbriquées de subdivisions territoriales. Le lecteur se référera à Jurdant *et al.*

(1977) pour la description complète de la méthode. Le processus d'organisation de l'information suggéré (Fortin, 1980) commence d'une part par regrouper les variables en facteurs synthétiques et d'autre part par désaggréger les objectifs en sous-objectifs (tableau II) de façon à ce que chacun de ceux-ci détermine un espace-solution dans le domaine des variables. Ces espaces-solutions sont utilisés seuls pour refléter un objectif unique ou combinés en modèles environnementaux pour tenir compte de plusieurs objectifs. Ce sont ensuite les problématiques origines-destinations qui viennent extraire de ces espaces-solutions les chemins *optimaux*. Pour illustrer ce processus, nous nous restreindrons à la présentation d'un seul exemple afin de limiter l'exposé.

Prenons le premier objectif, celui de la rationalisation du système de transport ; il se décompose en deux sous-objectifs : a) minimiser les coûts de construction et de transport, b) utiliser les corridors existants. Les coûts de construction et de transport seront minimisés lorsque les contraintes techniques seront réduites et lorsque le kilométrage sera limité. La minimisation de la longueur des chemins étant implicite dans la recherche des corridors routiers, nous nous contenterons, pour rendre le premier sous-objectif, d'un critère de faisabilité technique (fig. 1).

TABLEAU II

Liste des objectifs et sous-objectifs

<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Rationalisation du système de transport</i></li> <li>— minimiser les coûts de construction et de transport</li> <li>— utiliser les corridors existants</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Protection écologique</i></li> <li>— minimiser les pertes potentielles des habitats terrestres</li> <li>— minimiser les effets de barrières pour les migrations animales</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Développement des ressources minières</i></li> <li>— favoriser l'accès aux zones à fort potentiel minier</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Développement des ressources forestières</i></li> <li>— favoriser l'accès aux zones exploitables</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Développement du tourisme sportif et récréatif</i></li> <li>— favoriser l'accès aux ressources fauniques exploitables</li> <li>— favoriser l'accès aux sites exceptionnels et aux paysages attrayants</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Harmonisation avec l'utilisation actuelle du territoire</i></li> <li>— tenir compte de l'utilisation actuelle du territoire par les autochtones</li> <li>— respecter le régime territorial</li> <li>— préserver les sites archéologiques</li> <li>— éviter les zones agricoles</li> </ul>

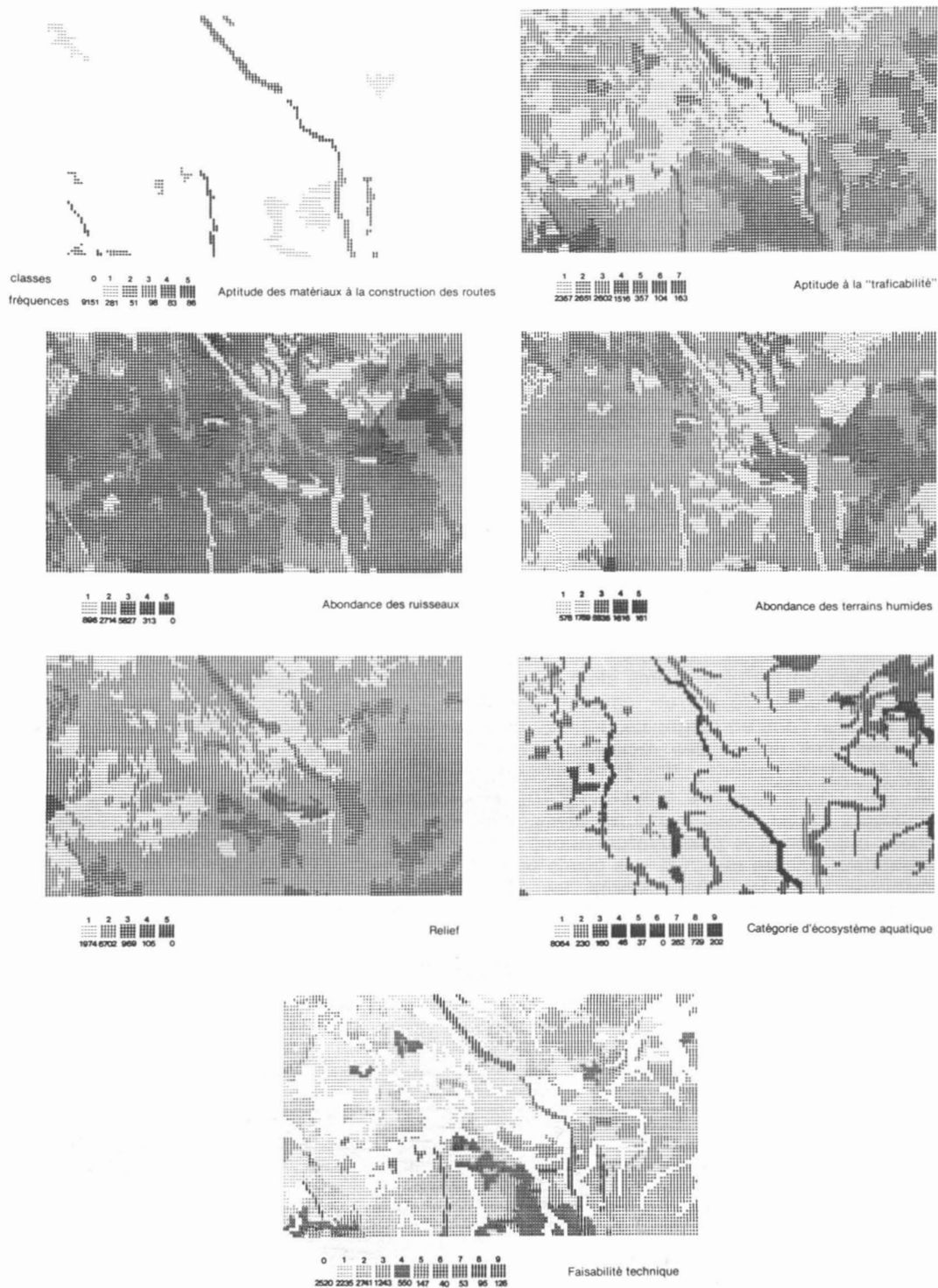


Figure 1. Regroupement de données conduisant à la faisabilité technique.



Les clés d'interprétation, *aptitude à la traficabilité* et *aptitude des matériaux à la construction routière* (Canada, 1977b), sont à la base de cette synthèse; elles ont été éprouvées par la Société d'Énergie de la Baie James. Comme l'aptitude des matériaux à la construction des routes est nulle sur la plus grande partie (93,8%) du territoire (ces proportions sont données par la distribution de fréquences des classes), nous donnons la prépondérance à l'aptitude à la traficabilité que nous essayons de raffiner là où elle n'est pas suffisamment discriminante. Nous utilisons alors des subdivisions plus fines que celles de la clé originale (7 classes au lieu de 5), nous nous servons également des informations provenant de *l'abondance des ruisseaux* et de *l'abondance des terrains humides* pour nuancer les régions les plus uniformément inaptés. La variable *catégorie d'écosystème aquatique* rajoutée à la classe de faisabilité nulle les rivières et les grands lacs alors que le *relief* apporte des distinctions dans les classes moyennes.

Deux clés d'interprétation, construites à partir des types écologiques, et quatre variables de base sont ainsi combinées pour traduire cartographiquement le thème de la faisabilité technique. Les zones de faisabilité nulle sont les plus claires alors que les zones de faisabilité accrue, comme l'esker qui traverse l'aire en diagonale, sont les plus foncées. Les détails des reclassements et des pondérations sont inclus dans le tableau III. Soulignons que ces choix résultent de plusieurs essais: nous avons retenu la synthèse qui rendait le plus d'informations élémentaires, encore que 76% des pixels se retrouvent dans les trois classes les plus faibles.

Tel qu'employés dans cet exemple, des concepts allant du simple bon sens aux concepts statistiques *significatif* et *discriminant* en passant par la reconnaissance de formes permettent de dégager des classifications thématiques relativement raffinées. La capacité de choisir les classes importantes des variables impliquées, de les pondérer ou de les hiérarchiser, enfin de comparer instantanément les résultats de ces essais constituent des atouts indispensables au traitement des données géographiques.

Les clés d'interprétation des cartes écologiques serviront encore à décrire les objectifs de la protection écologique et du développement touristique. Six cartes thématiques ont été tirées des procédures de regroupement; elles reproduisent les classifications des terres associées à la faisabilité technique, aux potentiels faunique, minier, forestier et touristique, et localisent les voies de transport. Ces analyses devront ensuite être combinées pour produire des modèles environnementaux.

La figure 2 image la construction d'un de ces modèles, appelé *modèle d'exploitation*, parce qu'il donne la prépondérance aux secteurs ressources; les lieux les plus élevés des diagrammes tri-dimensionnels sont les passages qui favorisent le plus les thèmes indiqués. Parmi les autres modèles environnementaux non illustrés, certains proviennent de la combinaison de thèmes sectoriels et de la faisabilité technique. Ils sont appelés: protection écologique, développement des ressources forestières, développement des ressources minières et développement touristique. Ces modèles simples serviront à générer des chemins qui correspondront à la

TABLEAU III  
Combinaison des variables conduisant à la faisabilité technique

Variables ou facteurs impliqués	Classes									Pondération	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
Aptitude à la «traficabilité»	0	1	2	3	4	5	6				1
Aptitude des matériaux à la construction des routes	0	0	0,5	1	1	1					2
Abondance des ruisseaux	1	0,5									2
Abondance des terrains humides	1	0,5									1
Catégorie d'écosystème aquatique	0	0	0	0	0	0	-9	-9	-9		1
Relief	0	0	0	-1	-1	-1					1

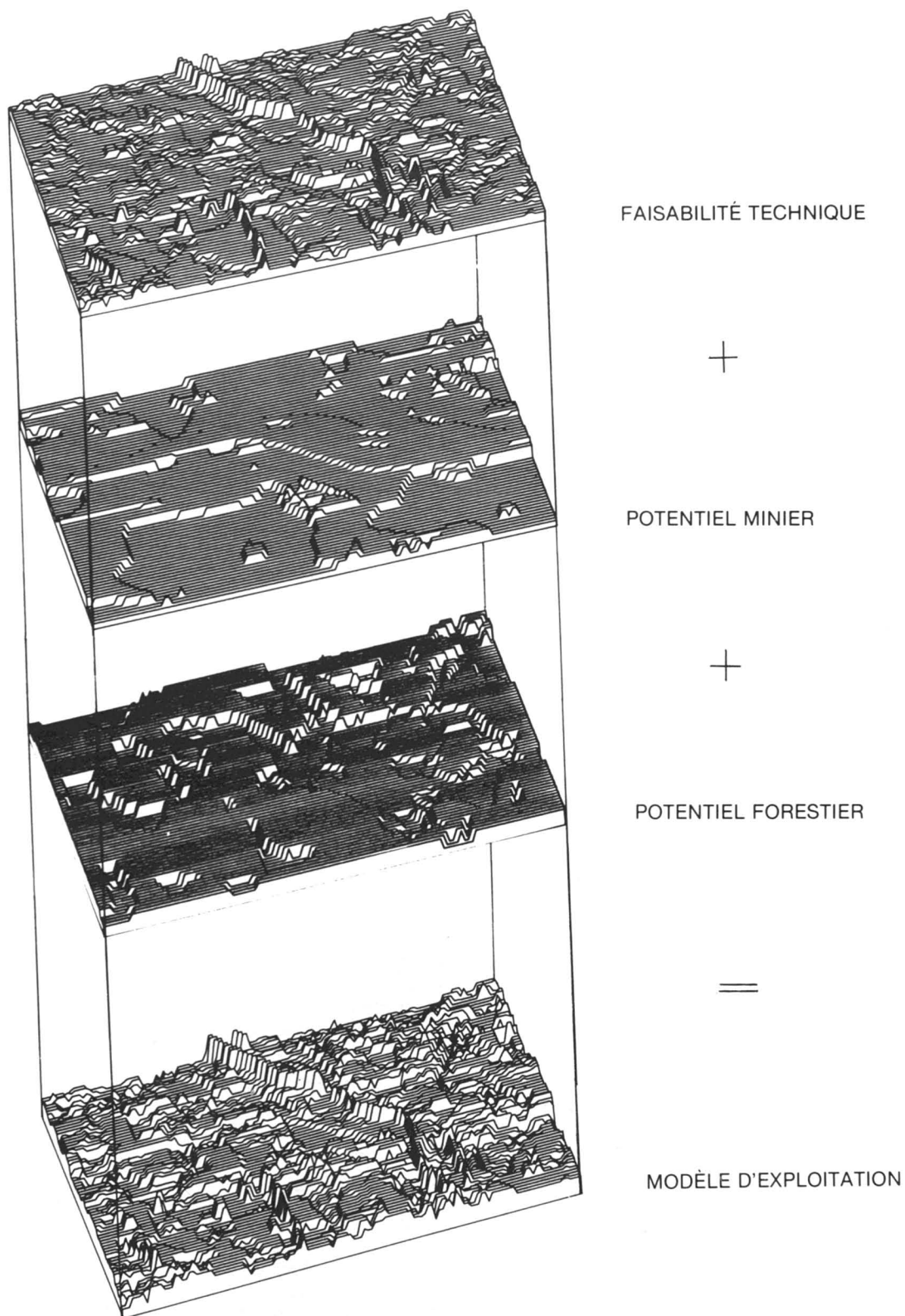


Figure 2. Construction du modèle d'exploitation.

situation actuelle où les corridors sont effectivement proposés par les intervenants sectoriels. Nous pourrions voir l'influence des secteurs sur l'alignement des tracés, et examiner les lieux possibles de conflit ou de concordance.

Nous avons aussi combiné plusieurs thèmes pour obtenir les modèles de conservation, d'exploitation, composite et non-technique. Les modèles de conservation et d'exploitation veulent correspondre à des personnalités types (l'écologiste et le promoteur), ou à des orientations d'aménagement ou de développement identifiables. Le modèle composite regroupe tous les thèmes exhibés; il pourrait être vu comme plus complètement multi-objectif. Enfin un modèle qualifié de non-technique a été fabriqué; il exclut la faisabilité technique et servira à évaluer l'influence des critères d'ingénierie dans les autres modèles.

### Résultats et discussion

Les modèles environnementaux tentent de définir les espaces les *meilleurs* pour l'établissement des infrastructures routières, cependant les contraintes qui sont encore plus déterminantes pour la structure du réseau routier sont celles de la définition de

ses pôles. Ainsi nous obtenons des résultats sous la forme de graphiques localisant les corridors qui répondent aux problématiques origines-destinations proposées. Nous produisons aussi des indices quantitatifs: distances linéaires et pondérées entre les pôles, indice d'accessibilité et de dispersion. Soumis à une analyse attentive, ces résultats laissent voir assez clairement comment différents chemins favorisent un ou plusieurs objectifs. Les modèles multi-objectifs proposent aussi des compromis intéressants.

À cause de leur nature éminemment visuelle, il est malaisé de présenter ces résultats de façon concise. Nous illustrons tout de même (fig. 3) une des problématiques appliquées à quelques modèles ainsi que les voies de transport actuelles et projetées. Bien qu'il n'existe pas de correspondance directe entre ce dernier réseau et nos propositions, les routes existantes fournissent un point de comparaison valable. Le premier comportement rassurant des modèles est celui de refléter la réalité de leur secteur. Les routes actuelles (voies 1 et 2) sont retrouvées par le modèle de faisabilité technique; ce modèle reconnaît aussi le corridor (5) qui joint Selco (S) à l'esker, et qui passe par Phelps Dodge (B) pour rejoindre Matagami (M). Ce corridor apparaît également dans les propositions

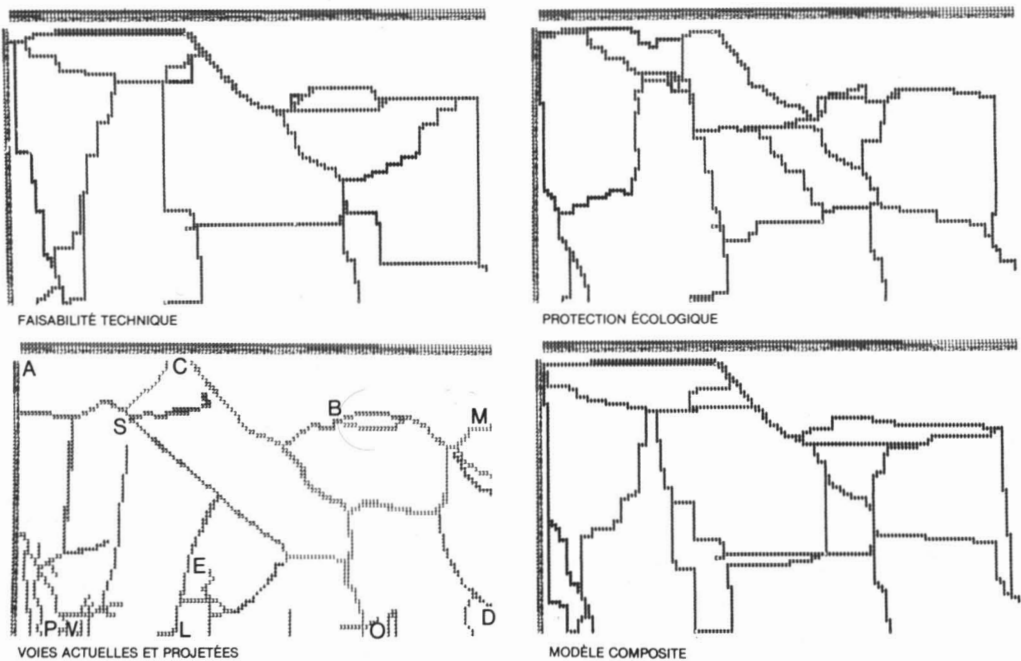


Figure 3. Propositions-réseaux générées à partir des modèles indiqués.

(non illustrées) des modèles de développement des ressources minières, d'exploitation, de conservation et composite ainsi qu'en partie dans celles du modèle non-technique. Les autres projections (5) provenant du secteur minier entre Selco-Joutel (S-J) et Selco-Villebois (S-V) se retrouvent dans les réseaux des modèles minier, d'exploitation et non-technique. Ces chemins font aussi, en partie, l'accord des modèles touristiques et écologiques. La route entre Selco et Villebois (4) projetée par l'ex-ministère des Terres et Forêts, figure en entier dans les suggestions du modèle forestier; elle est comprise en partie dans celles des modèles touristique, écologique, de conservation et composite. Le tronçon projeté par l'Office de planification et de développement d'Québec (6) est présent dans le réseau minier et dans le réseau non-technique.

Ces exemples montrent que chacun des modèles sectoriels fournit des propositions de corridors équivalentes à celles des organismes concernés, lorsqu'il y a lieu. Ce résultat peut sembler tautologique puisque les données entrantes provenaient de ces ministères. Il n'en confirme pas moins la validité du choix et du traitement de ces informations, c'est-à-dire la validité des modèles environnementaux et de la procédure de recherche des corridors. Soulignons que ces modèles peuvent être modifiés au besoin; il ne faut pas les considérer comme des solutions uniques.

### Conclusion

Notre objectif de planification environnementale des corridors routiers nous a d'abord conduits à conceptualiser un modèle décisionnel pour la localisation de ceux-ci, puis à construire un outil informatique qui la réalise effectivement. Or il existe actuellement en recherche opérationnelle un courant qui vise à donner autant, sinon plus, d'importance à l'étape finale de l'implantation du modèle et de sa mise à jour qu'à sa conception elle-même et qui veut aussi pousser davantage l'interaction entre l'utilisateur et le modélisateur.

Cette tendance prend une saveur particulière dans le domaine des méthodologies d'évaluation d'impact. En effet, les études d'impact étaient généralement vues comme des exercices techniques et scientifiques qui procuraient des informations *objectives* aux gestionnaires, donnant par la suite lieu à de

*melleures* décisions plus *rationnelles*. Mais elles tendent maintenant à devenir partie intégrante d'un processus politique qui fait intervenir plusieurs acteurs. L'importance de la médiation dans la gestion des problèmes environnementaux ira en s'accroissant et impliquera le développement de méthodes qui fourniront des informations pertinentes et compréhensibles aux parties intéressées. Elles devront, pour cela, prendre une forme plus qualitative et descriptive (Bisset, 1980).

Nous avons voulu concrétiser ces aspirations théoriques, de l'accessibilité à l'information et de la médiation environnementale, tout en conservant à l'étude d'impact son caractère scientifique. Cette première aspiration a voulu être comblée au moyen d'un outil informatique permettant de synthétiser les données de base, de visualiser leurs combinaisons et d'exposer les résultantes des orientations d'aménagement sous une forme explicite. Au niveau de la médiation environnementale, les modèles composés semblent offrir des compromis intéressants; cependant seul un dialogue intersecteurs nous permettrait d'évaluer véritablement la valeur de cette médiation. Nous devrions idéalement à cette étape réunir les divers intervenants sectoriels à une même table. Nous pourrions utiliser une formule du type «Workshop» (Holling, 1978) pour confronter les besoins des secteurs et les solutions suggérées, et apporter des révisions pertinentes au modèle.

D'autre part, l'envergure *réseau* du projet et le recours à une banque de données établie indiquent une nouvelle direction. Ces caractéristiques placent l'étude dans un contexte de planification permanente, au sens où la localisation des corridors peut s'effectuer à mesure qu'apparaissent les besoins. Ce travail nous a également permis de montrer comment les données qualitatives de l'inventaire écologique peuvent être utilisées avec profit dans le domaine de l'aménagement. Il nous a donné l'occasion d'aborder la difficile question des objectifs multiples et de suggérer un processus d'organisation de l'information souple mais rigoureux pour la traiter.

### Remerciements

Ce travail a été effectué avec la précieuse collaboration de messieurs Patrick Déoux et Xavier Ceccaldi, urbanistes-aménagistes à la municipalité de la Baie-James et avec la contribution financière de cet organisme.

### Références

- BISSET, R., 1980. Methods for environmental impact analysis: recent trends and future prospects. — *J. Environ. Mgmt.*, 11 : 27-43.
- CANADA, 1977a. Le système d'information géographique du Canada (par W.A. Switzer). — Direction générale des terres, Environnement Canada.
- CANADA, 1977b. Interprétations des cartes écologiques du territoire de la baie James pour le secteur ingénierie (par Michel Jurdant). — Service des études écologiques régionales, Environnement Canada, 62 p.
- DUCRUC, J.P., 1980. L'inventaire du Capital-Nature du territoire de la baie James, Le système écologique, unité de base de la cartographie écologique. — Service des études écologiques régionales, Environnement Canada, Québec, 54 p.
- FORTIN, N., 1980. Localisation environnementale d'un réseau routier: une approche par système informatisé. Étude de cas de la région de Matagami. — Publication n° 223, Centre de recherches sur les transports, Université de Montréal, 123 p.
- GRIFFITH, C., 1980. Geographic information systems and environmental impact assessment. — *Environ. Mgmt.*, 4 : 21-25.
- JURDANT, M., J.L. BELAIR, V. GÉRARDIN & J.P. DUCRUC, 1977. L'inventaire du Capital-Nature. Méthodes de classification et de cartographie écologique du territoire. — Service des études écologiques régionales, Environnement Canada, Québec, 202 p.
- HAGGETT, L. & R.J. CHORLEY, 1969. Network analysis in geography. — Martin's Press, New York, 348 p.
- HOLLING, C.S. (ed.), 1978. Adaptive environmental assessment and management. — John Wiley and Sons, New York and Chichester, 377 p.
- MANHEIM, M.L., 1968. Search and choice in transport systems planning. — Research Report no. R68-40, M.I.T., Cambridge, Mass., 342 p.
- MUNN, R.E. (ed.), 1979. Environmental impact assessment. Principles and procedures. SCOPE 5, 2<sup>nd</sup> ed. — John Wiley and Sons, Toronto, 190 p.
- SOCIÉTÉ DE DÉVELOPPEMENT DE LA BAIE JAMES, 1980. Orientation du développement et de l'aménagement du territoire de la baie James. Problématique sectorielle et intégration. — Montréal, 274 p.
- TURNER, A.K., 1976a. Computer-aided environmental impact analysis. Part 1: procedures. — *Colo. Sch. Mines Miner. Ind., Bull.*, 19(2) : 1-23.
- TURNER, A.K., 1976b. Computer-aided environmental impact analysis. Part 2: applications. — *Colo. Sch. Mines Miner. Ind., Bull.*, 19(3) : 1-16.

Végétation  
*Vegetation*

GORHAM, E. Some unsolved problems in peatland ecology .....	533-541
RILEY, J.L. Hudson Bay lowland floristic inventory, wetlands catalogue and conservation strategy .....	543-555
FILION, L. & S. PAYETTE. Régime nival et végétation chionophile à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec .....	557-571
COWLES, S. Preliminary results investigating the effects of lichen ground cover on the growth of black spruce .....	573-581
REZNICEK, S.A. & J. SVOBODA. Tundra communities along a micro-environmental gradient at Coral Harbour, Southampton Island, N.W.T. ....	583-595
McANDREWS, J.H., J.L. RILEY & A.M. DAVIS. Vegetation history of the Hudson Bay lowland: a postglacial pollen diagram from the Sutton Ridge .....	597-608

Cartographie et classification des terres  
*Mapping and ecological land classification*

SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE. Use of vegetational physiognomy in classifying treed peatlands near southern James Bay, Ontario .....	611-619
JEGLUM, J.K. & D.W. COWELL. Wetland ecosystems near Kinoje lakes, southern interior Hudson Bay lowland .....	621-635
PALA, S. & W. WEISCHET. Toward a physiographic analysis of the Hudson Bay-James Bay lowland .....	637-651
PALA, S. & A. BOISSONNEAU. Wetland classification maps for the Hudson Bay lowland .....	653-659
FORTIN, N. & P. LEGENDRE. Application de la cartographie écologique à la localisation environnementale d'un réseau routier .....	661-670

LE NATURALISTE CANADIEN  
Revue d'écologie et de systématique

Volume 109

1982

Numéro 3

Recherches sur la baie d'Hudson et la baie James  
*Scientific studies on Hudson and James Bay*

I

LACROIX, G. Avant-propos .....	299-300
MARTINI, I.P. Introduction .....	301-305
Géologie et géomorphologie <i>Geology and geomorphology</i>	
SHILTS, W.W. Quaternary evolution of the Hudson/James Bay region .....	309-332
HARDY, L. Le Wisconsinien supérieur à l'est de la baie James (Québec) .....	333-351
KRANCK, K. & A. RUFFMAN. Sedimentation in James Bay .....	353-361
D'ANGLEJEAN, B. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary, prior to river cut-off .....	363-374
CHAMPAGNE, P. Morphologie littorale de la baie de Rupert .....	375-384
CLARKE, K.E., I.P. MARTINI & W.A. GLOOSCHENKO. Sedimentary characteristics of the coastal environment of North Point, Ontario .....	385-397
SCOTT, D.B. & I.P. MARTINI. Marsh Foraminifera zonations in western James and Hudson Bays .....	399-414
MARTINI, I.P. Geomorphological features on the Ontario coast of Hudson Bay ...	415-429
Climatologie et pergélisol <i>Climatology and permafrost</i>	
FRENCH, H.M. & R. GILBERT. Periglacial phenomena near Churchill, Manitoba ..	433-444
POITEVIN, J. & J.T. GRAY. Distribution du pergélisol dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine, Québec .....	445-455
ROUSE, W.R. The water balance of upland tundra in the Hudson Bay lowlands — Measured and modelled .....	457-467
WRIGHT, R.K. Modelling the thaw-season runoff in Nouveau-Québec .....	469-479
Sols/Soils	
GLOOSCHENKO, W.A. & K. CLARKE. The salinity cycle of a subarctic salt marsh .	483-490
PROTZ, R. Development of gleysolic soils in the Hudson Bay and James Bay coastal zone, Ontario .....	491-500
PROTZ, R. Development of podzolic soils in the Hudson Bay and James Bay lowlands, Ontario .....	501-510
TARNOCAI, C. Soil and terrain development in the York Factory Peninsula, Hudson Bay lowland .....	511-522
MOORE, T.R. Nutrients in subarctic woodland soils .....	523-529

(Suite au verso)  
(Continued on inside back cover)

# LE NATURALISTE CANADIEN

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE SYSTÉMATIQUE

VOLUME 109

NUMÉRO 4

1982

Recherches sur la baie d'Hudson et la baie James  
*Scientific studies on Hudson and James Bays*

II

Décembre 1982

Les Presses de l'Université Laval  
Québec



# LE NATURALISTE CANADIEN

Revue d'écologie et de systématique

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR  
GUY LACROIX

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION  
PIERRE MORISSET

## COMITÉ DE RÉDACTION

CYRILLE BARRETTE, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD BERNIER, *Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval*  
ANDRÉ BOUCHARD, *Institut botanique, Université de Montréal*  
CARL M. BOYD, *Département d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*  
EDWIN BOURGET, *Département de biologie, Université Laval*  
PIERRE COUILLARD, *Département des sciences biologiques, Université de Montréal*  
JEAN-MARC DESCHÊNES, *Station de recherches, Agriculture Canada, Sainte-Foy, Québec*  
FERNAND M. GAUTHIER, *Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Ministère de l'Agriculture du Québec*  
PIERRE LEGENDRE, *Département de sciences biologiques, Université de Montréal*  
WILLIAM C. LEGGETT, *Département de biologie, Université McGill*  
JEREMY MCNEIL, *Département de biologie, Université Laval*  
BERNARD J. R. PHILOGÈNE, *Département de biologie, Université d'Ottawa*

Publication trimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN (Revue d'écologie et de systématique) publie des articles *inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche en écologie, en systématique et dans certains domaines apparentés. La revue s'intéresse également aux aspects appliqués, notamment dans la perspective des ressources agricoles, forestières et halieutiques du Québec et du Canada oriental et nordique.

LE NATURALISTE CANADIEN est subventionné par le Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et par le Fonds F.C.A.C. du Québec.

Les manuscrits doivent être expédiés à l'adresse suivante : LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

Toute correspondance touchant les abonnements ou les droits de reproduction doit être adressée aux Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4. L'abonnement annuel est de \$ 17 (personnel), \$ 19 (personnel, étranger) et \$ 34 (collectif, *multi-user*). Le numéro régulier se vend \$ 5.

Répertorié dans Biological Abstracts, Asher's  
Guide, Botanical Periodicals, RADAR et Périodex

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement n° 1768

Dépôt légal — Quatrième trimestre 1982. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

Recueil de travaux présentés  
*Selected papers presented*

au / at the

**Symposium sur la baie d'Hudson et la baie James**  
***James and Hudson Bay Symposium***

University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada  
28-30 avril / April 28-30, 1981

RECHERCHES SUR LA BAIE D'HUDSON ET LA BAIE JAMES  
*SCIENTIFIC STUDIES ON HUDSON AND JAMES BAYS*

II

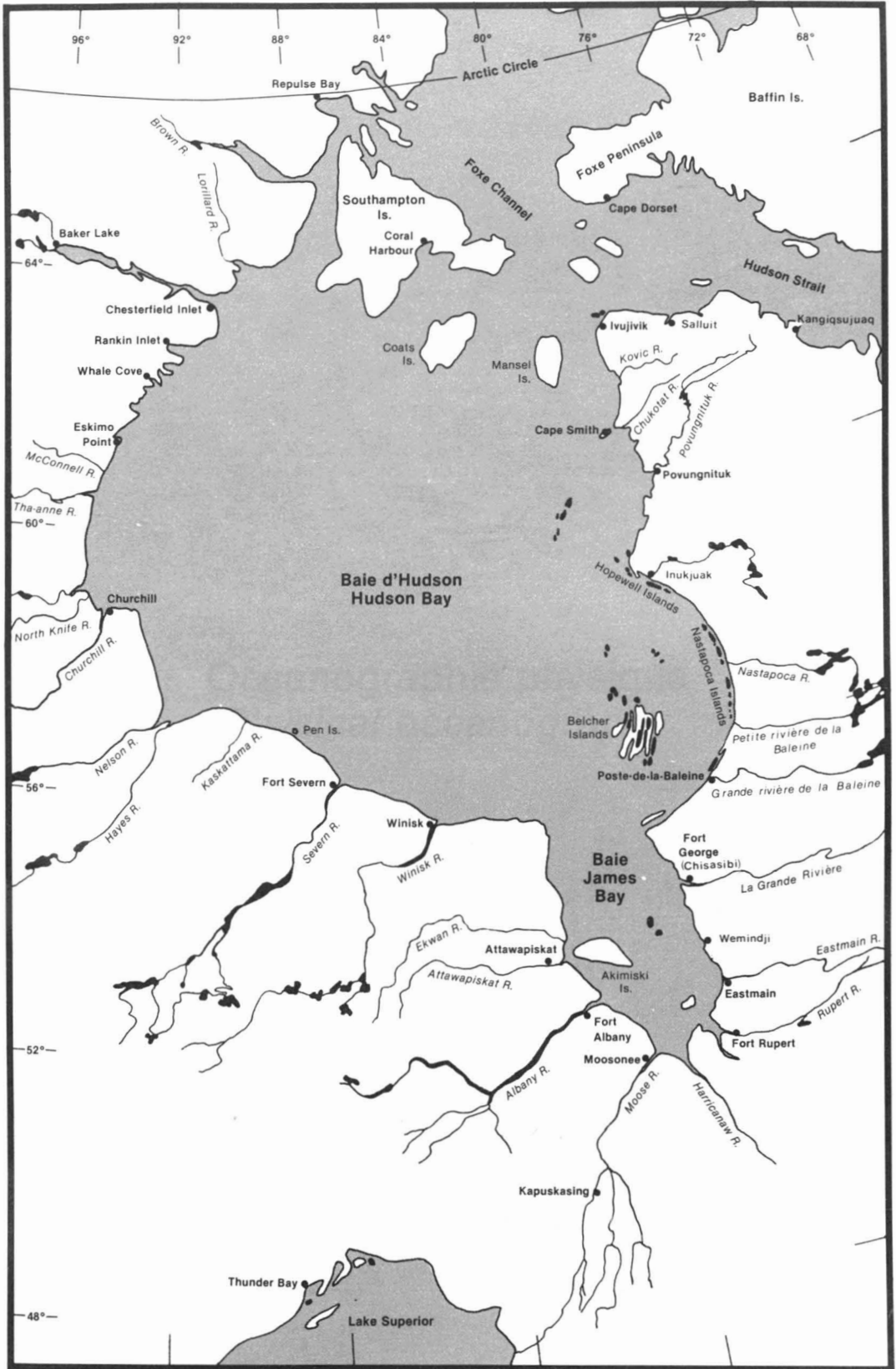


Éditeur en chef / General editor  
I.P. MARTINI

Éditeurs adjoints / Associate editors  
J.W. BERRY, J. DODSON, N.G. FREEMAN, W.A. GLOOSCHENKO,  
R.I.G. MORRISON & J.C. ROFF

Université Laval  
Québec  
1982







Océanographie physique  
*Physical oceanography*



## OCEANOGRAPHIC RESEARCH IN HUDSON AND JAMES BAYS

M. J. DUNBAR

*Institute of Oceanography, McGill University  
3620 University Street, Montréal, Québec H3A 2B2*

### Résumé

La recherche océanographique dans la baie d'Hudson débuta en 1929, bien que les premiers résultats significatifs furent le fruit de la campagne du «Loubyrne» en 1930. De 1948 (avec la campagne «Haida») à nos jours, le rythme des travaux s'est accéléré, mais il reste beaucoup à faire. Peu d'études ont été effectuées en hiver, et on ne sait pas si l'échange vertical des eaux est complet ou non, ou du moins jusqu'à quel point les eaux profondes sont associées ou non à la couche supérieure. On présente ici un résumé de ce qui est connu du bilan hydrographique de la Baie. Il est suivi d'une revue de nos connaissances sur la productivité biologique de la région. On y suggère que la production puisse avoir été sous-estimée en raison du manque d'échantillonnage durant le *bloom* printanier du phytoplancton.

### Abstract

Oceanographic research in the Hudson Bay basin began in 1929, but the 1930 "Loubyrne" expedition produced the first really significant results. From 1948 ("Haida" expedition) to the present, the pace of work has been accelerating, but there is still a great deal to be done. There has been very little work done in the winter, and it is still not clear whether or not there is full vertical exchange of water, or to what extent the deep water is coupled with, or uncoupled from, the upper layer. What is known of the water budget of Hudson Bay is summarized, and the state of our knowledge of the biological productivity is reviewed. It is suggested that the production may have been underestimated owing to the probable failure so far to make the measurement at the time of the maximum phytoplankton bloom in the spring.

### Introduction

Gans (1926) and Neatby (1968) review the possible claimants for the first (non-native) discovery of Hudson Bay. Gans gives the palm to Hudson in 1610, but Neatby points out that Hudson Bay was known and on the maps before that, and implies that this knowledge came from Portuguese navigators toward the end of the 16<sup>th</sup> century. The early explorers in fact do not concern us here, since we are dealing with scientific oceanography. I must take this opportunity of pointing out something that I have twice put into print before, namely that the historians of exploration seem to make a point of ignoring scientific oceanography and pay attention only to the navigators whose contribution to science was minimal. To quote from Dunbar (1951):

"...it is perhaps not too much to say that the greater the strictly scientific contribution of an expedition, the less fuss is made over it

and the less it appears in the histories. Remarkable as it may seem, neither the "Godthaab" expedition of 1928 nor the "Marion" and "General Greene" expeditions of 1928-35 are mentioned by Mirsky (1948); and yet it is to these expeditions that we owe most of our detailed knowledge of the waters of Davis Strait and Baffin Bay. This neglect is the common fate of expeditions whose aims are mainly or wholly oceanographic. W.S. Bruce was the first explorer to bring out this fact; in his book "Polar Exploration" (1911) Bruce writes: "...if an expedition investigates 150 miles of unknown land it is said to have made 'important geographic discoveries, whereas, if it investigates, with equal if not greater detail, 150 miles of unknown sea, it will be said that the expedition made 'no geographical studies'".

Neatby (1968) makes no mention of oceanographic expeditions at all for the



earlier years (no "Acadia", 1929, no "Loubyrne", 1930, no "Haida", 1948). He mentions only, and very briefly, the 1961 work of the "Theta" and the "Calanus" (he misspells the last-named vessel) and ignores "Calanus" cruises of several years before 1961.

Pride of place as the first oceanographic expedition to work in Hudson Bay must be given to the "Acadia" expedition of 1929, 1930 and 1931, sent out by the then Department of Marine and Fisheries on an oceanographic and meteorological reconnaissance. But I think the contribution of the "Loubyrne" expedition of 1930 marks the real beginning of oceanographic knowledge in Hudson Bay. This was the fisheries expedition that established the fact the Hudson Bay did not offer much scope for the development of commercial fisheries, something that successive governments and other organizations have seen fit to doubt, mistakenly. In 1948 the HMCS "Haida" occupied oceanographic stations every hundred miles along the route of the naval enterprise.

The 15-m ketch "Calanus", built in 1948, was used in Ungava and Frobisher Bays during her first years of service, and in 1953 moved into northern Hudson Bay for the first time. The 1953 and 1954 seasons were occupied mainly in work on the sea mammals, notably the walrus, the arctic char, plankton, and productivity. Grainger and Andersen wintered in the "Calanus" near Igloodik in Foxe Basin, 1955-1956, producing the first study of winter physical and biological conditions and processes from the surface to the bottom ever to be done in the Canadian Arctic. Unexpected ice conditions kept the ship in Foxe Basin another winter, and in 1958 Grainger did useful oceanographic work in eastern Hudson Bay; the earlier part of that season had been spent in the Belcher Islands, using a freight canoe to make studies on primary production rates, metabolic rates of invertebrates, and fish. The "Calanus" work to that date is published in a number of papers brought together in the "Calanus" Series special publication of the Fisheries Research Board, 1963, and in later papers. Some of the individual references are cited below. A table showing the ships engaged in physical oceanography in Hudson Bay between 1929 and 1962 is given by Barber (1967).

The "Calanus" was again in Hudson Bay in 1961, and so was the "Theta" doing physical oceanographic and biological work; and

the "John A. MacDonald" in 1962. The "Theron" worked there in 1965, and also in 1965 a cruise of the "Hudson" made geological and sedimentological studies throughout the bay. Oil and gas exploration in the Beaufort Sea deflected the attention of many government scientists from the northeast to the northwest during the following decade, but a return to the east was heralded by similar developments in the Labrador Sea, Davis Strait and Baffin Bay, and by the James Bay hydroelectric plans and development in western Québec. There can be no doubt about what pulls the scientific compass needles around. The years 1975 to date have seen much activity in Hudson Bay, mainly in the southeast of the bay and in James Bay, such as the "Narwhal" cruise in 1975, the "Petrel" in 1976 and 1978, and winterwork in smaller vessels and aircraft (Baird, 1975; Wright, 1975; Prinsenbergh, 1978, 1979; Prinsenbergh & Collins, 1979; Prinsenbergh & Deys, 1979; Pullen, 1973). Biological oceanographic work was done in the Chesterfield Inlet region in 1978 (Pett, 1981), and recently studies on plankton biology in the southeast of Hudson Bay have been published by Legendre & Simard (1978, 1979).

All this fieldwork, the pace of which is increasing rapidly under the pressure of the James Bay development, needs assessing, and the assessment is the main purpose of the present volumes. I think two things have to be said at the outset: one is that it would be a serious mistake to concentrate all our effort in the southeastern region simply because that is the area where the James Bay hydroelectric development will be, or may be, most immediately felt — the total oceanography (physical, biological, chemical, geological) has been neglected for many years. The other is that we still have not a single oceanographic station occupied during the winter, through the ice, in the main open Hudson Bay. There have been some winter observations recently in the extreme southeast, in shallow water, and Mansfield, in 1955, measured salinities and temperatures at standard depths from the surface to 50 m from April 3 to June 18 in South Bay, Southampton Island (Dunbar, 1958). Clearly winter fieldwork is most urgently needed. There were also five shallow water stations occupied in 1973 off Fort Churchill by S.E.D. Systems Ltd., Saskatoon (Dunbar & Acreman, 1980).

I propose now to make some attempt at spelling out what appear to me to be the

next problems to attack, in physical and biological oceanography, in order to give us at least a first approximation to a detailed knowledge of the patterns of water movement and of biological processes in this very large, northern inland sea. I think first I should say how glad I am to see that Québec and Ontario, landlords of so much of the Hudson Bay coastline, have finally become aware of it. As recently as 1973 I visited all fourteen of the Ontario Universities on an investigation of their graduate studies in the earth sciences, and I was both astonished and delighted to discover that none of them seemed to know that Ontario had some 600 nautical miles of sea coast. One other general comment is that so much of the original data and even some important interpretation of the data on Hudson Bay, as on other parts of the Canadian seas, are appearing exclusively in "Manuscript Reports", "Research Reports", "Data Reports", put out by government departments. Much of this "unpublished" literature is often hard to find in libraries, and the mailing lists

seem to be incomplete. Why not publish in print, in the ordinary journals that libraries normally hold?

### Water sources

Gans (1926) gives an account of the size of the Hudson Bay drainage area, which I have drawn here in Figure 1. She makes no effort to give a total figure for the freshwater runoff into James Bay or Hudson Bay, and indeed the data were not available at that time. She calls the high land that separates one drainage area from the others "watersheds", in the English translation, which is the proper use of the word. But since 1926 it seems that that word has suffered the fate of many, in having its meaning changed, so that Prinsenber (1977) in his account of the freshwater budget of Hudson Bay, uses the word to mean "drainage areas" or "drainage basins", which means that we have to find a new word for the "shed" in the former usage. At all events, Prinsenber

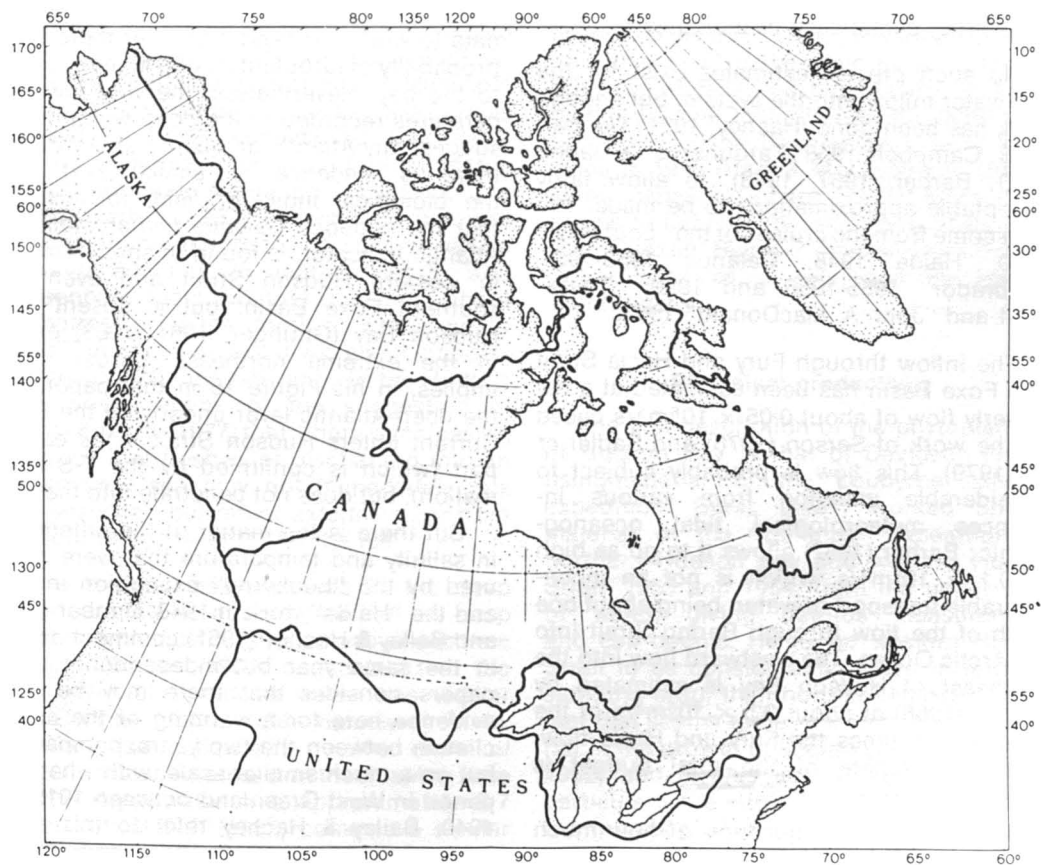


Figure 1. The major Canadian watersheds and drainage basins.

gives the following figures: runoff into Hudson Bay,  $12.50 \times 10^3 \text{m}^3/\text{s}$  annually; for James Bay, 10.06; precipitation minus evaporation, -6.08, giving a net inflow of freshwater for both bays of  $16.47 \times 10^3 \text{m}^3/\text{s}$  annually. These are pre-James Bay development figures. Prinsenberg (1977) has something to say on the effect of this development, especially in the winter: "The hydro-electric development will increase the runoff rates of the La Grande River by 470% during the ice-covered winter period of January to April. This will increase the mean winter period runoff for the James Bay region by 70% and for the Hudson and James Bay region by 20%. No significant changes for the total region will occur in the summer months as the proposed discharge rates through the power dams will be around the presently-measured summer rates" (Prinsenberg, 1977). That extra flow of water is presumably taken from rivers of other "watersheds", notably the Caniapiskau River whose waters up to now have flown into Ungava Bay. It will be interesting to see whether this is to have a significant effect on Ungava Bay, either climatically or biologically.

No such precise estimates exist for the salt water inflow into the system, but enough work has been done (Hachey, 1931; Dunbar, 1958; Campbell, 1958; Farquharson & Sauer, 1960; Barber, 1967, 1968), to allow fairly acceptable approximations to be made. The data come from the cruises of the "Loubyrne" 1930, "Haida" 1948, "Calanus" 1953-1961, "Labrador" 1955-1956 and 1959, "Theta" 1961 and "John A. MacDonald" 1962.

The inflow through Fury and Hecla Strait into Foxe Basin has been estimated at a net easterly flow of about  $0.05 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$  based on the work of Serson (1976) and Sadler *et al.*, (1979). This flow is probably subject to considerable variation from various influences, meteorological, tidal, oceanographic; Barber (1967) allows it to go as high as  $0.1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ , which is not an inconsiderable transport of water, being about one tenth of the flow through Bering Strait into the Arctic Ocean. The westward flow into the northeast of Hudson Bay is estimated by Barber (1968) at about  $0.5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$  of the order of ten times the Fury and Hecla flow, and his estimate of the total budget is shown in Table I.

There is also the question of how much Atlantic water enters Hudson Bay, and on this point the literature is almost silent. It is

TABLE I  
Water budget of Hudson Bay (Barber, 1968)

<i>In</i> ( $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ )	<i>Out</i> ( $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ )
From Hudson Strait: 0.5	Through Hudson Strait: 0.6
Through Fury and Hecla Strait: 0.05	
Fresh water: 0.05	

a matter of considerable interest, not only intrinsically, but to biogeographers and paleontologists. On the basis of the comparison of temperature-salinity plots from north-eastern Hudson Bay with those from mid-Hudson Strait, Ungava Bay, and Cumberland Sound, Dunbar (1958) suggested that there was no evidence for the entry of Atlantic water at all. Hudson Bay differs from the others in lacking the increase in temperature and salinity at depth shown by the others: this "turn-up" is interpreted as indicating Atlantic water influence at depth, absent from Hudson Bay. But the matter is by no means settled. There are few enough data to work with, and moreover there is the probability of turbulent mixing at the entrance to the bay. Nevertheless, the very low temperatures recorded in the deep water do not suggest any Atlantic admixture at depth, and there is evidence of similar sort from the biological indicator field, for instance that the copepod *Calanus finmarchicus*, an Atlantic indicator, is found in small numbers in western Hudson Strait and even into southern Foxe Basin, but is absent from Hudson Bay (Grainger, 1961, 1963) except in the extreme northeast. Barber (1967) implies, in his Figure 16 in that paper, that the deep Atlantic layer underlying the Baffin Current enters Hudson Strait in its eastern part (which is confirmed by the T-S information), but does not penetrate into the bay.

But there is the matter of the differences in salinity and temperature that were measured by the "Loubyrne" expedition in 1930 and the "Haida" work in 1948. Dunbar (1951) and Bailey & Hachey (1951) comment on this, in the same year but independently. Both papers consider that there may be good evidence here for a warming of the marine climate between the two years, comparable, but on a much smaller scale, with what happened in West Greenland between 1915 and 1940. Bailey & Hachey refer to this as an increasing Atlantic influence, and Dunbar also mentions it as a possibility. The para-

graph above, in discussing Atlantic water, refers to the Atlantic water at depth, underlying the Arctic water, as occurs in Baffin Bay and for that matter in the Arctic Ocean. There is little evidence of the penetration of this water into Hudson Bay. What is referred to in the two 1951 papers is a supposed increase admixture of Atlantic water in the upper 200 metres, which would imply an increase in West Greenland current water into the Baffin Current, and for this there does not seem to be any evidence. Add this to the plankton indicator information, and the likelihood of Atlantic water becomes remote. The reason for the 1930-1948 differences, therefore, must remain unexplained at present.

### Winter regime

The literature is even more silent on this point. We have no information at all, by direct measurement, of the winter hydrographic regime, particularly in the deeper water. Hachey (1954) hazarded the guess that the water column would be uniform from top to bottom by freeze-up time. Dunbar (1958), on the basis of the stations occupied by Mansfield in the Southampton Island area, was equally sanguine, considering that there was no apparent reason to doubt that the vertical exchange would reach the bottom in winter. Barber (1967) comes to a different conclusion on the basis of salinity values between 50 and 75 metres depth, and Prinsenbergh (pers. comm.) considers about 60 metres to be the depth to which winter vertical mixing reaches. It will also be necessary to consider the relevance to the Hudson Bay winter regime of the suggestion of Barber & Murty (1977) that "there is increasing evidence that freshwater discharged into an ice covered sea may not immediately mix with seawater, but rather extends away from the source in a layer under the ice".

The oxygen measurements in the deep water certainly do not indicate that the deep water is dynamically dead, as was at one time thought. Barber (1967) concluded that the circulation of the deep water was similar to that of the upper water, namely cyclonic, and he also estimated, on the basis of oxygen measurements, that the flushing time for the deep water was approximately 5-7 years. Pett & Roff (1982) come to a similar conclusion, also on the basis of oxygen measurements.

The reputed low productivity of Hudson Bay (see below) is still a little unconvincing, and one would hesitate to use the available measurements as a guide to vertical exchange during the winter. Anyway, one must insist on direct physical measurements, which simply emphasizes the urgency of full winter field work in physical (and other) oceanography. To derive estimates from indirect evidence is not enough, almost mediaeval in its slyness. It was analogous evidence that gave rise to the "fact", accepted for centuries, that the osprey had one foot webbed and the other clawed.

### Ice

That Hudson Bay carries a heavy ice load in winter, contrary to former belief, is now no longer news. On the other hand, not much is known about the thickness of the Hudson Bay ice, nor of its behaviour in detail. The diatoms that grow in sea ice have been investigated only very cursorily in Hudson Bay (Dunbar & Acreman, 1980). And there is a great deal of work to be done on the significance of the open water, the wide flaw leads on either side of the main body of the ice, both climatically and biologically. It is interesting to note that whereas the demonstration that Hudson Bay freezes over in winter came in 1949 (Hare & Montgomery, 1949). A close inspection of the text of Gans (1926) seems to indicate that she knew at that time that Hudson Bay *did* freeze over. Gans is not quoted as a reference by Hare & Montgomery.

### Biological productivity

The first description of the phytoplankton of Hudson Bay is that of Davidson (1931), using material from the "Loubayne" fisheries expedition. Bursa (1961) worked on the material of the "Calanus" expeditions in northern Hudson Bay and western Hudson Strait, 1953 and 1954, from the upper 50 m of water, giving detritus measurements and cell counts. He found western Hudson Strait to be considerably richer, in terms of standing crop, than northern Hudson Bay, a fact that seems to be reflected in some manner in the growth of *Sagitta elegans* (Dunbar, 1962) and *Mytilus edulis* (Lubinsky, 1958), particularly the latter. Bursa (1968) adds that the number of phytoplankton species so far recorded from the Arctic Ocean (63 species) is less than the number found in Foxe

Basin (121 species), which in turn is much less than the number found in Hudson Bay (235 species). This number has been increased more recently, for Gerrath *et al.* (1980) have added 37 freshwater species new to the flora, and record 42 freshwater species in all, reflecting the large freshwater runoff into the bay. The total number was again raised by Anderson (1979), who recorded the largest concentrations, in terms of cells per litre, in the southeastern part of the bay, west of the Belcher Islands, and off the mouth of Chesterfield Inlet. Anderson also measured dry weight of phytoplankton, chlorophyll *a* concentration, ATP, POC and PON. Roff *et al.* (1980) studied the productivity of Chesterfield Inlet in detail.

Two interesting papers by Legendre & Simard (1978, 1979) on phytoplankton and nutrient dynamics in James Bay and southeast Hudson Bay respectively show low concentrations of phosphate in James Bay and low nitrate levels in the deeper water of Hudson Bay. They write: "Some physical oceanographers hypothesize that the deeper waters of Hudson Bay are uncoupled from the Atlantic Ocean, as intensive mixing of incoming oceanic waters occurs in Hudson Strait. Such a circulation pattern, together with possibly low nutrient regeneration in Hudson Bay, could account for the low levels of nitrate observed in the deep waters." The 1979 paper closes with a review of past opinions (guesses) on the productivity of Hudson Bay as a whole. This is still an open question, and perhaps the most important of the immediate problems. There is an urgent need for much more intensive study of the nutrient concentrations in the bay, at all depths, and above all for the measurement of the rate of production at the time of the phytoplankton bloom; there have been some measurements of this production rate, not yet published, but they have been done in mid-summer, or at least after the expected time of the production maximum.

Finally, to complete the record to date mention should be made of the study by Griffiths *et al.* (1981) on summer tidal fronts in Foxe Basin and Hudson Bay, relevant to total productivity. And there is the question of whether Hudson Bay functions as an estuary or not; that is, whether the very large freshwater runoff (Prinsenberg & Gottinger, 1979) engenders entrainment of salt water and estuarine upwelling, or whether the runoff, on the contrary, has the effect of

rendering the upper water so stable as to discourage vertical movement. From the literature to date it seems that the latter effect is dominant, but it has not yet been settled. At all events, the discharge of freshwater from so large a drainage basin, through Hudson Strait and down the Labrador coast, would be expected to have interesting effects a long way downstream, similar to those studied in the Gulf of St. Lawrence system and off the coast of Norway.

## References

- ANDERSON, J. T., 1979. Seston and phytoplankton data from Hudson Bay, 1975. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario. Tech. Note Ser., no. 80-2, 76 p.
- BAILEY, W. B. & H. B. HACHEY, 1951. An increasing Atlantic influence in Hudson Bay. — Proc. Nova Scotian Inst. Sci., 22: 17-33.
- BAIRD, S. D., 1975. Hudson Bay 1975 oceanographic field report. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario.
- BARBER, F. G., 1967. A contribution to the oceanography of Hudson Bay. — Canada, Dept. of Energy, Mines and Resources, Marine Sciences Branch, Ms. Rep. Ser., no. 4, 69 p.
- BARBER, F. G., 1968. The water and ice of Hudson Bay. — Pages 287-318 in C. S. Beals (ed.), Science, history and Hudson Bay, Dept. Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1057 p.
- BARBER, F. G. & T. S. MURTY, 1977. Perennial sea ice-speculations concerning physical and biological consequences. — Pages 257-268 in M. J. Dunbar (ed.), Polar oceans. Arct. Inst. N. Am., Calgary, Alberta, 682 p.
- BRUCE, W. S., 1911. Polar exploration. — Henry Holt, New York, 256 p.
- BURSA, A. S., 1961. Phytoplankton of the "Calanus" expeditions in Hudson Bay, 1953 and 1954. — J. Fish. Res. Bd Can., 18: 51-83.
- BURSA, A. S., 1968. Marine life of Hudson Bay, part I: Marine plants. — Pages 343-351 in C. S. Beals (ed.), Science, history and Hudson Bay, Canada, Dept. Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1057 p.
- CAMPBELL, N. J., 1958. The oceanography of Hudson Strait. — Fish. Res. Bd Can., MS Rep., no. 12, 60 p.
- DAVIDSON, V. M., 1931. The planktonic diatoms in Hudson Bay. — Contr. Can. Biol. Fish., N.S., 6: 495-509.
- DUNBAR, M. J., 1951. Eastern arctic waters. — Bull. Fish. Res. Bd Can., no. 88, 131 p.
- DUNBAR, M. J., 1958. Physical oceanographic results of the "Calanus" expeditions in Ungava

- Bay, Frobisher Bay, Cumberland Sound, Hudson Strait, and northern Hudson Bay, 1947-1955. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 15: 155-201.
- DUNBAR, M.J., 1962. The life cycle of *Sagitta elegans* in arctic and subarctic seas, and the modifying effects of hydrographic differences in the environment. — *J. mar. Res.*, 20: 76-91.
- DUNBAR, M.J. & J.C. ACREMAN, 1980. Standing crops and species composition of diatoms in sea ice from Robeson Channel to the Gulf of St. Lawrence. — *Ophelia*, 19: 61-72.
- FARQUHARSON, W.I. & C.D. SAUER, 1960. Tidal and oceanographic survey of a section of Hudson Strait, August and September 1959. — Preliminary Ms. Rep., Dept. of Mines and Technical Surveys.
- GANS, M., 1926. Das Hudsonmeer. — *Arch. Dt Seewarte*, 44(1): 133 p.
- GERRATH, J., J.C. ROFF & J.T. ANDERSON, 1980. Phytoplankton of fresh-water origin in Hudson Bay. — *Nova Hedwigia*, 32: 167-183.
- GRAINGER, E.H., 1961. The copepods *Calanus glacialis* and *Calanus finmarchicus* in Canadian arctic-subarctic waters. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 18: 663-678.
- GRAINGER, E.H., 1963. Copepods of the genus *Calanus* as indicators of eastern Canadian waters. — Pages 68-94 in M.J. Dunbar (ed.). Marine distributions. R. Soc. Can. and Toronto Univ. Press, Toronto, 338 p.
- GRIFFITHS, D.K., R.D. PINGREE & M. SINCLAIR, 1981. Summer tidal fronts in the near-arctic regions of Foxe Basin and Hudson Bay. — *Progr. Oceanogr.*
- HACHEY, H.B., 1931. The general hydrography and hydrodynamics of the waters of the Hudson Bay region. — *Contr. Can. Biol. Fish.*, 7: 93-118.
- HACHEY, H.B., 1954. The hydrography of Hudson Bay. — *Trans. R. Soc. Can.*, 48, Ser. III: 19-23.
- HARE, F.K. & M.R. MONTGOMERY, 1949. Ice, open water, and winter climate in the eastern Arctic of North America. II. The problem of winter ice. — *Arctic*, 2: 149-164.
- LEGENDRE, L. & Y. SIMARD, 1978. Dynamique estivale du phytoplancton dans l'estuaire de la baie Rupert (baie de James). — *Naturaliste can.*, 105: 243-258.
- LEGENDRE, L. & Y. SIMARD, 1979. Océanographie biologique estivale et phytoplancton dans le sud-est de la baie d'Hudson. — *Mar. Biol.*, 52: 11-22.
- LUBINSKY, I., 1958. Studies on *Mytilus edulis* of the "Calanus" expeditions to Hudson Bay and Ungava Bay. — *Can. J. Zool.*, 36: 869-881.
- MIRSKY, J., 1948. To the North! The story of Arctic exploration. — New York, Viking Press, 334 p.
- NEATBY, L.H., 1968. History of Hudson Bay. — Pages 69-125 in C.S. Beals (ed.). Science, history and Hudson Bay, Canada, Dept. Mines, Energy and Resources, Ottawa, 1057 p.
- PETT, R.J., 1981. Chesterfield Inlet oceanographic data report 1978, I: Nutrient and seston data. — Ocean and Aquatic Sciences, Environment Canada, CCIW, Burlington, Ontario.
- PETT, R.J. & J.C. ROFF, 1982. Some observations and deductions concerning the deep waters of Hudson Bay. — *Naturaliste can.*, 109: 767-774.
- PRINSENBURG, S.J., 1977. Freshwater budget of Hudson Bay. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario, MS Rep. Ser., no. 5, 71 p.
- PRINSENBURG, S.J., 1978. Analytical study of the circulation of James Bay. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario, MS Rep. Ser., no. 6, 55 p.
- PRINSENBURG, S.J., 1979. Sound velocity and sounding depth error distribution in Hudson Bay and James Bay. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario, Tech. Note Ser., no. 79-2, 80 p.
- PRINSENBURG, S.J. & D. COLLINS, 1979. Hudson Bay/James Bay oceanographic data report, winter 1977. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario, Data Rep. Ser., no. 79-3, 231 p.
- PRINSENBURG, S.J. & F.W. DEYS, 1979. Hudson Bay oceanographic data report 1975, vol. 2. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario, Data Rep. Ser., no. 79-4, 191 p.
- PRINSENBURG, S.J. & R. GOTTINGER, 1979. Heat and freshwater contents in Hudson Bay and James Bay. — Environment Canada, Ocean and Aquatic Sciences, CCIW, Burlington, Ontario, MS Rep. Ser., no. 8, 79 p.
- PULLEN, T.W., 1973. James Bay data report 1972. — Environment Canada, Marine Sciences Directorate, CCIW, Burlington, Ontario, 93 p.
- ROFF, J.C., R.J. PETT, G.F. ROGERS & W.P. BUDGELL, 1980. A study of plankton ecology in Chesterfield Inlet, NWT; an arctic estuary. — Pages 185-197 in V.S. Kennedy (ed.). Estuarine perspectives. Academic Press, New York, 533 p.
- SADLER, H.E., H.V. SERSON & R.K. CHOW, 1979. The oceanography of Fury and Hecla Strait. — Defense Research Establishment Pacific, Victoria, B.C., Tech. Memo., no. 79-11, 61 p.
- SERSON, H.V., 1976. An oceanographic survey of Fury and Hecla Strait. — Defense Research Establishment Ottawa, Tech. Note, no. 76-14, 27 p.
- WRIGHT, B.M., 1975. Hudson Bay multi-parameter survey. Final field report. — Canadian Hydrographic Service, CCIW, Burlington, Ontario, Project File, no. 6600-75-3.
- WRIGHT, B.M., 1976. James Bay winter survey 1976. Final field report. — Canadian Hydrographic Service, CCIW, Burlington, Ontario.



## TIME VARIABILITY OF PHYSICAL OCEANOGRAPHIC PARAMETERS IN HUDSON BAY

S. J. PRINSENBERG

*Ocean Science and Surveys*  
P. O. Box 5050, Burlington, Ontario L7R 4A6

### Résumé

Selon les données obtenues dans la baie d'Hudson et l'analyse théorique, les variables océanographiques des eaux peu profondes de la baie d'Hudson sont très dépendantes du vent et autres facteurs météorologiques. Le vent et les courants qu'il génère varient quotidiennement par suite du passage des systèmes météorologiques. Ils varient mensuellement et au plan saisonnier selon la variabilité des conditions météorologiques moyennes. Les données de l'été 1975 révèlent un cycle de 4 à 6 jours dans les variations du vent et des courants. Les courants sont de plus sous l'emprise des composantes de la marée, des moyennes quotidiennes du vent et finalement des moyennes mensuelles. Le déplacement par la marée atteint 2 km, tandis que la dérive quotidienne liée au vent atteint 10 km. Ces déplacements peuvent être cause de grandes variations dans les propriétés océanographiques d'un point particulier. Compte tenu de la grandeur de la Baie, l'on doit donc à la fois faire un échantillonnage intensif à quelques stations et un échantillonnage ponctuel dans le reste de l'aire d'étude. Des modèles simples peuvent permettre de déterminer les principales sources de variation à partir du premier échantillonnage, de façon à interpréter les données du second.

Nous avons utilisé pour la partie centrale de la Baie un modèle qui permettrait des prédictions quant à la température, la salinité et l'épaisseur de la couche de surface, pour une année complète. On a pu montrer que les propriétés des eaux de surface étaient dépendantes de l'action du vent, du flux de chaleur, de la teneur en eau du couvert de glace et de l'appel de chaleur de ce couvert de glace. Les changements causés par une diminution de 20% de l'épaisseur de la glace se sont avérés plus grands que les changements prévus de débit liés aux aménagements hydro-électriques.

### Abstract

Oceanographic data and theoretical analysis show that the oceanographic parameters in the shallow Hudson Bay are highly dependent on wind and other weather-related fluxes. The wind stress and resulting currents vary daily due to passing weather systems and monthly and seasonally due to the variability in mean weather conditions. Data from the summer of 1975 show that passing weather systems caused four-to six-day cycle variations in wind stress and currents. In addition, currents are dominated by tidal components, followed in order by daily mean wind components and lastly by monthly mean components. Tidal excursions are up to 2 km while daily wind drift excursions are up to 10 km. These excursions can cause large variations in water properties observed at a fixed location.

Due to the large dimension of the bay, a combination of high density sampling in time at some locations and single sampling in the remaining area should be carried out in order to study the area. Simple models can separate the major contributors of the observed phenomena in the high density-sampled areas and their results applied to the remaining area. A surface-mixed layer model was applied to the centre area of the bay and could predict the surface layer depth, temperature and salinity for a yearly cycle. It showed that the surface properties are mainly dependent on the wind stress, the heat flux, the freshwater content of the ice cover and heat requirement of the ice cover. Changes caused by a 20% reduction in the maximum ice thickness were larger than those predicted by the combined runoff changes due to hydroelectric developments.



## Introduction

Oceanographic data in Hudson Bay have been collected during three summer months and three winter months. Summer data were collected over the entire region with the use of research vessels, while winter data have been collected for inshore areas of the southeastern part of Hudson Bay and James Bay. Our analysis of the behaviour of Hudson Bay has thus relied on the experience of similar systems for which large data files are available.

The data of Hudson Bay were collected at times when the governing surface forces such as wind, runoff, ice ablation and accretion all vary the least. The largest variation in these forces occurs in spring and fall. In spring, the large freshwater input of melting ice and river runoff occurs under minimum wind speed conditions, while in the fall, maximum cooling and wind speeds occur followed by a period of salt rejection during ice accretion. The shallow depth and the large distance from the open ocean causes Hudson Bay to be very susceptible to these surface forces. Large seasonal variability in physical oceanographic parameters should thus be expected and remembered when data is interpreted and extrapolated to other parts of the year. This paper deals with spatial and temporal variability of oceanographic parameters and the effect they have on interpretation of data regarding the accepted cyclonic circulation and estuarine-type salinity and temperature distribution of Hudson Bay.

## Mean circulation

The cyclonic summer surface circulation can be verified from observations and theory. Bottle drifters indicate a mean surface water drift from Churchill to the Belcher Islands area (Barber, 1967). The salinity distribution (Fig. 1) shows that less saline water is found along the south and east shores of the bay (Prinsenberg, 1977). This is consistent in the northern hemisphere with cyclonic circulation and rivers with large runoffs located on the southern shore. Less saline, freshwater plume is deflected by the Coriolis force to the right as it enters Hudson Bay. The only exception to this is the plume of less saline water in the northwest flowing out of Chesterfield Inlet. It is forced offshore possibly by a northward flow in the inshore area between Churchill and Chesterfield Inlet.

Similar inshore currents opposing wind-stresses have been observed along leeward shores in the Great Lakes (Simons, 1980). Dynamically these currents are caused by the conservation of mass. For Hudson Bay, the area north of Churchill is the leeward shore for the prevailing north-westerly winds.

Figure 2 shows cyclonic circulation for September from a vertical integrated wind model (Murty & Yuen, 1973), which uses geostrophic winds calculated from the averaging of twenty-three years of atmospheric pressure data. Results of the model are plotted as depth-averaged transports for an observed September wind stress-curl of  $4 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$ . Current meter data necessary to verify directly the cyclonic circulation in addition to the resulting salinity distribution is very scarce for the region. The only available data are shown in Figure 1. These were collected during the months of August and September and represent mean values over the collection period ranging from 3½ to 5 weeks. The only data collected in the central area of Hudson Bay was observed north of Winisk (Prinsenberg & Deys, 1979) and is in agreement with the cyclonic circulation. Its magnitude is 2.3 cm/s towards the east. During this observation period, wind speed at the entrance of James Bay averaged 1.5 m/s towards the northwest, directly opposite to the general prevailing direction as given in the Climatic Normals (Canadian Government, 1968).

The cyclonic circulation pattern can thus be shown by model results, by salinity distribution and to some extent by current meter data. The variability in the currents of this pattern can best be seen in the tracks of two meteorological buoys deployed in August 1978 (Stark & Campbell, 1979). The tracks of the two buoys are redrawn on Figure 1. The buoy deployed in the centre remained there during the summer. However, late in the fall (October 11) it moved quickly to south of the Belcher Islands and then northwards. On the other hand, the second buoy deployed off Chesterfield Inlet moved southeast until October 18, when it was about 150 km north of the other buoy. Afterwards, it also moved towards the Belcher Islands. The tracks show variability in space as well as time. During the summer, excursions are smaller than in late fall when higher wind stress conditions are present. The monthly excursions of the buoys are listed in Table I.

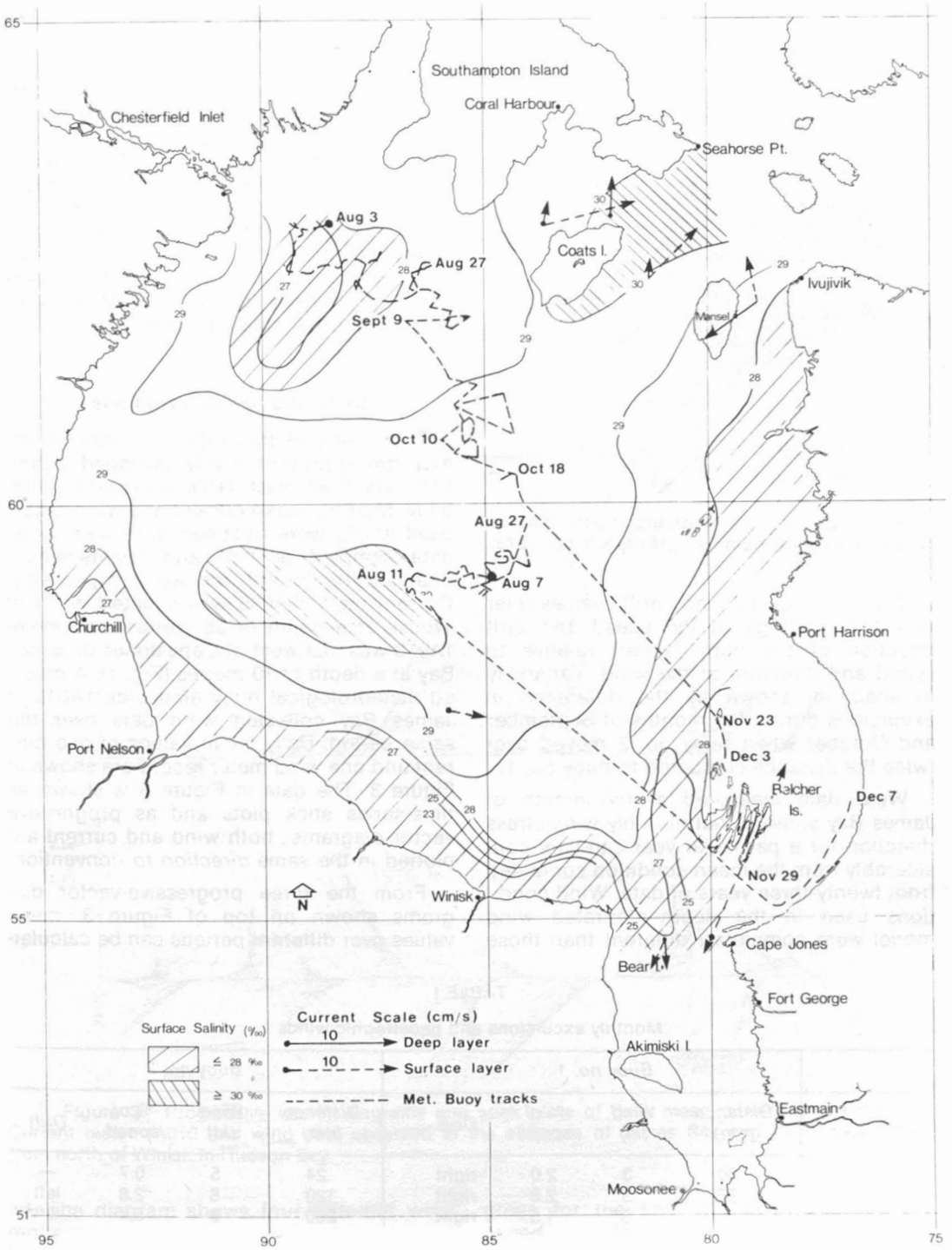


Figure 1. Observed surface salinity, mean currents and buoy tracks during the open-water summer season in Hudson Bay.

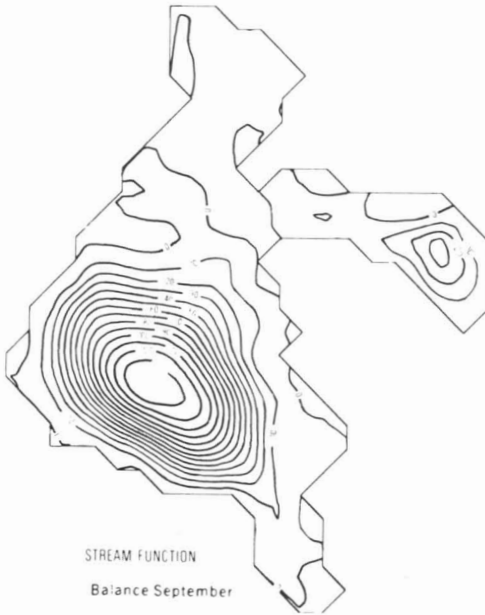


Figure 2. Vertical integrated stream function field in units of  $10^{12} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Murty & Yuen, 1973).

The “% of speed” and “drift” values refer to the percentage of the speed and drift direction of the buoy (water) relative to speed and direction of the wind. Variability in space is shown by the difference in excursions during the months of September and October when buoy no. 2 moved over twice the distance compared to buoy no. 1.

Wind data measured at the mouth of James Bay showed that monthly wind-stress direction for a particular year can vary considerably from the mean condition computed from twenty-three years of data. Wind conditions used in the depth-integrated wind model were completely different than those

observed when the current meter data was collected. Therefore, mean values may not be helpful in describing conditions when variations about the mean are large. Other weather factors such as runoff also show large variations. The La Grande River, located in James Bay, had a variation of up to 25% from its yearly mean value since 1914 (Gouvernement du Québec, 1969). Its yearly runoff constitutes respectively 18% and 8% of the total runoff for James Bay and Hudson Bay. The governing forces which control oceanographic parameters such as circulation, surface salinity and temperature vary greatly from year to year and thus cause large deviations from the mean.

### Daily and hourly variations

It was shown that monthly mean values may not represent yearly averaged conditions and may mask large short term variability. Monthly mean current and wind values used above were obtained from time-series data sampled at ten- and twenty-minute intervals for current and wind respectively. Current meter 9A035 was situated north of Winisk at a depth of 35 metres, and meter 1A010 was just west of Cape Jones in James Bay at a depth of 10 metres (Fig. 1). A moored meteorological buoy alongside 1A010 in James Bay collected wind data over the same period. Daily mean values of two current and one wind meter record are shown in Figure 3. The data in Figure 3 is shown as time-series stick plots and as progressive vector diagrams; both wind and current are plotted in the same *direction to* convention.

From the three progressive-vector diagrams shown on top of Figure 3, mean values over different periods can be calculated.

TABLE I  
Monthly excursions and geostrophic winds

Month	Buoy no. 1				Buoy no. 2			
	Distance (nm)	Wind (kt)	% of speed	Drift	Distance (nm)	Wind (kt)	% of speed	Drift
August	30	3	2.0	right	24	5	0.7	—
September	60	3	2.8	right	120	6	2.8	left
October	65	6	1.5	right	200	5	5.4	left
November	360	12	4.2	—	100	11	1.3	—
December	150	5	4.0	right	—	—	—	—
January	25	2	1.7	right	—	—	—	—

nm = nautical mile; kt = knot.

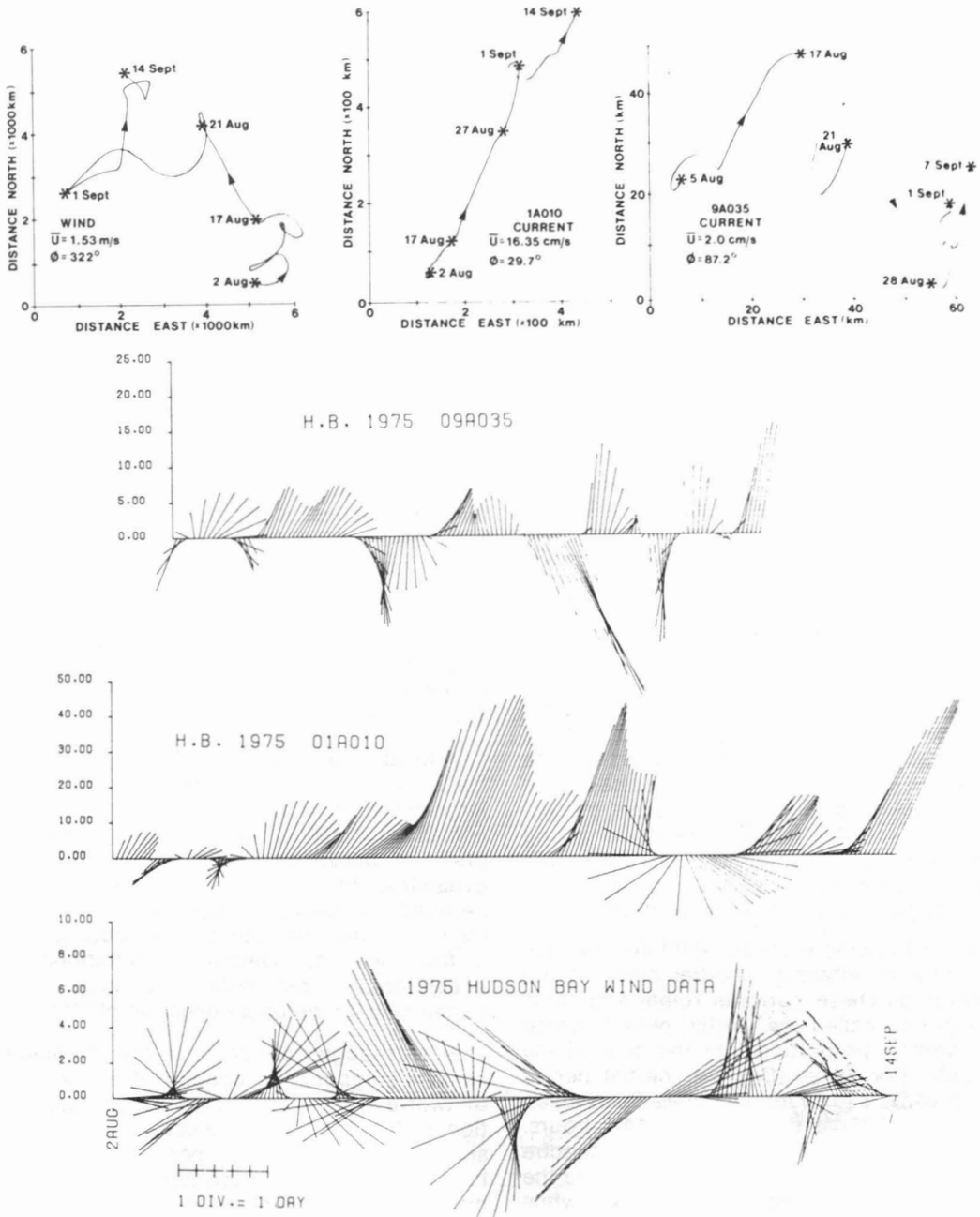


Figure 3. Progressive vector diagrams and stick plots of daily mean current and wind data. Current meter 1A010 and wind data observed at the entrance of James Bay and meter 9A035 data from north of Winisk in Hudson Bay.

ed. The diagram shows four different wind regimes: August 2-17, August 17-21, August 21-September 1 and September 1-14. During these periods, the wind direction changed counterclockwise from 360 to 330, then to 245 degrees before turning back to 25 de-

grees for the final 2 weeks. The average speed over the total record is 3.75 m/s. In addition, the daily mean wind values contain a four- to six-day cyclic variation, which is associated with passing weather systems. The data of current meter 1A010 contains the

same four- to six-day cyclic variation. Therefore the current is affected directly by the wind, in addition to a mean circulation which has a large northerly component. Current meter data north of Winisk also contains a four- to six-day cycle and has a mean of 2.3 cm/s at 105.5 degrees, which is about half of the observed mean daily speed. Maximum daily values are 25 cm/s and would produce much larger daily displacements than suggested by the monthly mean value.

Higher frequency information can be seen in ten-minute data of sections of the total records (Fig. 4). During this part of the total record, the wind turns clockwise 337 degrees from SSW at 8.6 m/s (August 19) to SW at 8 m/s (August 27). During each day, variations from the daily mean wind are small; the vector averaging only reduced the magnitude from 12.0 to 8.6 m/s (August 19) while causing only a small change in direction. However, this is not true for current meter records. Twenty-four-hour averaging has removed all major visual parts of the current meter records associated with tidal and inertial oscillations. These oscillations dominate the current meter record of 9A035 completely, overshadowing monthly or daily mean trends. In the James Bay record (1A010), the large northerly mean component is of the same magnitude as the tidal current and thus remains distinguishable. Tidal current amplitudes differ by 20% between spring tides and smaller neap tides. The total spring tidal currents are 50 and 30 cm/s and for records 1A010 and 9A035 respectively.

When the wind stress substantially changes direction or intensity, inertial currents are generated. These currents rotate with time at a period called the inertial period, which is inversely proportional to the sine of the latitude. For James Bay the inertial period has a value of 14.7 hours, while for Hudson Bay (at 9A035) it decreases to 14.1 hours. For the Hudson Bay current meter spectra (Fig. 5), the inertial period is too close to the large tidal peak to be distinguishable, while for James Bay it shows up as a separate peak at the 14.5 hour band. The other difference between the two spectra, and thus the two regions, is that at all bands the energy is lower at the Hudson Bay location relative to the James Bay location. This was found also to be true for other data at other depths not discussed in this paper. Currents in James Bay at all frequencies are stronger and indicate that not only are the properties in the water moved around faster, but they

are also mixed faster in both the horizontal and vertical direction.

### Salinity and temperature distributions

Since the current field is dominated by the tidal current, it is necessary to obtain repetitive data over a tidal period in order to obtain a mean representative profile of the oceanic parameter when this parameter has a large local horizontal variation. Figure 6 shows an example of profile data at a location near a river mouth where large horizontal gradients in salinity and temperature are found. Variations of 0.5°C and 0.3‰, which are equal to 30% of their total range with depth, occur at the ten-metre depth. For a tidal current with a period of 12 h and an amplitude of 25 cm/s, the horizontal tidal excursion is three kilometres. If the tidal current ellipse is circular in form, then a single profile actually represents a mean condition for a location that lies somewhere within a radius of 1.5 km. The 0.3‰ variation in salinity can be caused by tidal motion of surface water, which has a horizontal gradient of 1‰ in ten kilometres. This magnitude of salinity gradient is found in the inshore areas.

A location uncertainty of 1.5 km for a profile location is not important when describing large-scale distributions, however it becomes significant in calculating internal pressure gradients for inshore circulation dynamics. Ideally, instantaneous data is required for spatial distribution, but, due to logistic limitations, can only be obtained at a few locations. General distributions of oceanographic parameters are usually obtained by a single data collection platform.

Even though tidal currents are the major current components, conditions at the end of twelve or twenty-four hours of observation will not return to those found at the start of the observation period. No matter how long the observation period is made in order to obtain a representative mean, there is always another larger time scale over which changes will occur.

In plotting data for spatial distributions, one must select data from sub-areas that were collected over the shortest possible period. Data collected at different times in about the same area should not be used in spatial distribution plots, but should be treated as time-series data to describe variation in time.

AUG 75

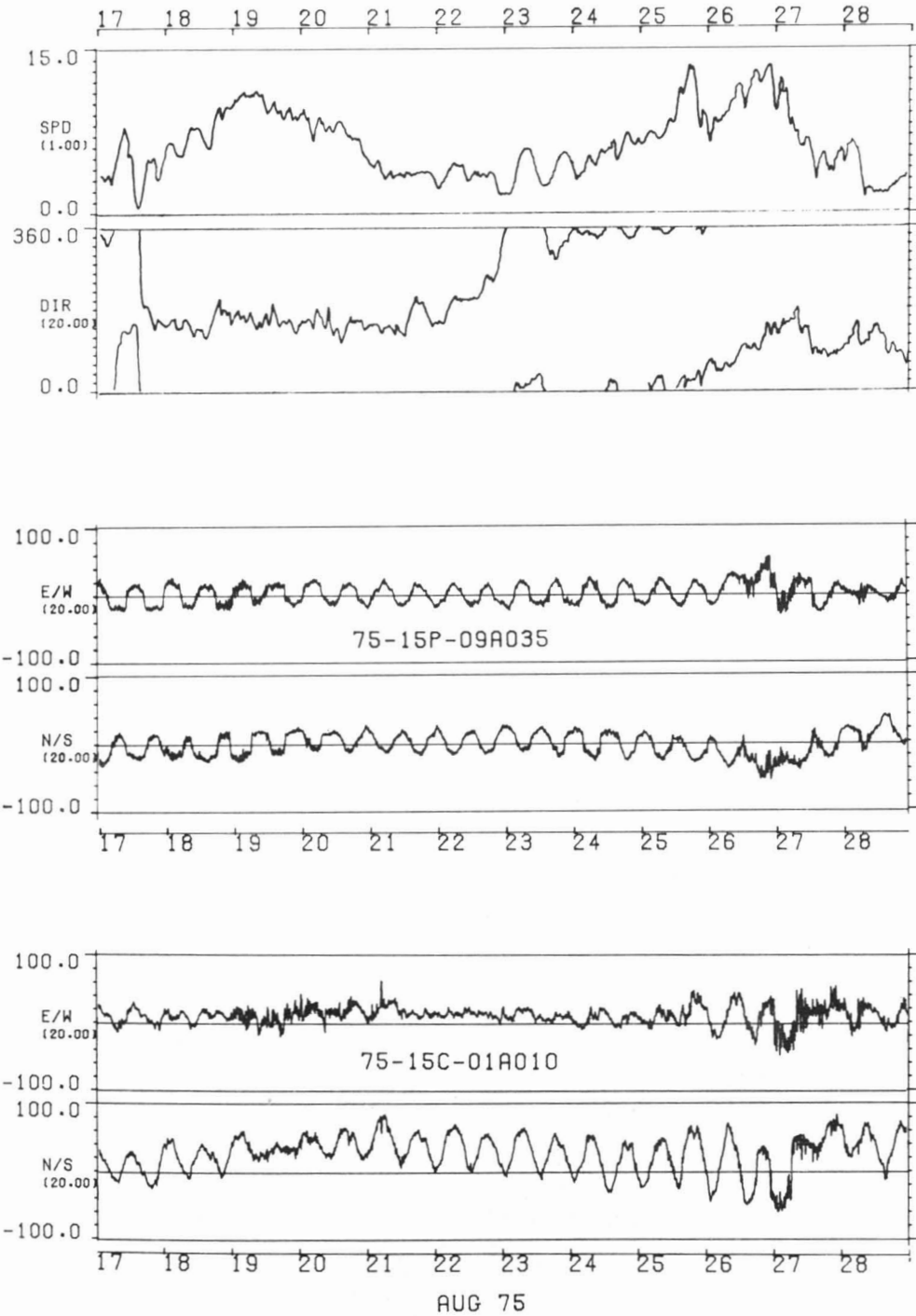


Figure 4. Sections of the time-series data of Figure 3 with speed and direction for the hourly wind data and easterly and northerly components for the 10-minute current meter data.

### Estuarine circulation

The circulation pattern in Hudson Bay and James Bay entrances can be referred to as estuarine, in which less saline surface water flows out and saltier oceanic bottom water flows in. Looking from the head of the estuary, the outflow is restricted to the right shore, with a bottom inflow reaching the surface on the left shore. The salinity distribution shown in Figure 1 shows that this occurs at the entrances of Hudson Bay and James Bay. The vertical diffusion in steady state estuarine circulation causes both top and bottom salinity values to increase towards the oceanic boundary, with a larger change per unit distance in the surface layer.

Since estuarine circulation is dynamically driven by density differences, depth variations in density for Hudson Bay are shown in Figure 7. The profiles show a progressive change in the surface density from the Hudson Strait profile in July, to the Hudson Bay entrance (middle) and to the centre of Hudson Bay. In the bottom layer (60 m), the centre of the bay indicates a higher density (salinity) than at corresponding depths of the bay's entrance, and at those of Hudson Strait in July. However, they are equal to those found in Hudson Strait in October. This can not occur in a steady state circulation condition and indicates that estuarine and wind driven circulations vary throughout the year. Estuarine circulation changes in response to a varying freshwater input, while the seasonal climate changes cause variations in the wind driven component of the circulation. In winter there is also a large salt rejection from ice which alters the salinity content.

Hudson Bay outflow is concentrated in the southeastern channel, reaching a depth of 90 m. At all depths, outflowing water has the lowest density (salinity) value compared to other profiles. Monthly mean current data (Prinsenber, unpublished data) obtained during summer of 1976 indicates that there exists a layer below 90 m that brings in saltier water from Hudson Strait (Fig. 1). The 1976 current data does not distinguish between contributions from estuarine, wind-driven or non-linear tidal circulations. All three contributors are present. For instance, in the northern channel currents at 110 m depth show a cross-channel mean component associated with non-linear periodic oscillations in a curved channel. At the surface (15 m), all currents responded to

SSW wind for the first part of their recording period and later to NW wind. Wind-driven circulation (out of the bay) over-rode the estuarine inflow circulation. This does not mean that estuarine circulation was not present, but that at the observation locations mean currents responded more to surface forces. For James Bay, 1975 mean current data show an in- and out-flow associated with estuarine circulation, even though the wind-stress was to the northwest, opposing the surface inflow on the Ontario side. Salinity and current meter data usually show the same circulation patterns when observed at the same time (James Bay), but may indicate opposing circulation patterns when observations were made at different times.

### Seasonal variation

All the discussion so far has been concerned with summer conditions of Hudson Bay. Conditions change in winter since the wind-driven component is largely removed by the ice cover; estuarine circulation is reduced due to lower runoff; and the vertical stability differs greatly.

Only a limited amount of winter data is available to compare the horizontal oceanographic distributions to those of the summer. Some parameters such as temperature can still be estimated for the winter to determine the main contributors to its seasonal cyclic behaviour. From deep summer oceanographic data it can be seen that the temperature excess above the freezing temperature at depths below the pycnocline is around 0.5°C. This is also seen at deeper winter station locations off Great Whale. If this value is taken as an average winter value for Hudson Bay below a surface layer of 50 m, then the amount of heat left in Hudson Bay during maximum ice thickness conditions (beginning of May) is  $1.28 \times 10^{26}$  joules. This compares to a heat content of  $7.59 \times 10^{26}$  joules for the summer. Heat budget results (Prinsenber & Gottinger, 1979) show that the incoming solar radiation of heat between May 1 and August 31 is mainly balanced by the heat required to melt the snow and ice cover and that required to heat the water up to the observed summer values. The advection of heat by water and ice is negligible for the total Hudson Bay region. Advection redistributes heat throughout the system, but the net loss or gain through the entrance is small. The heat budget shows that summer water tem-

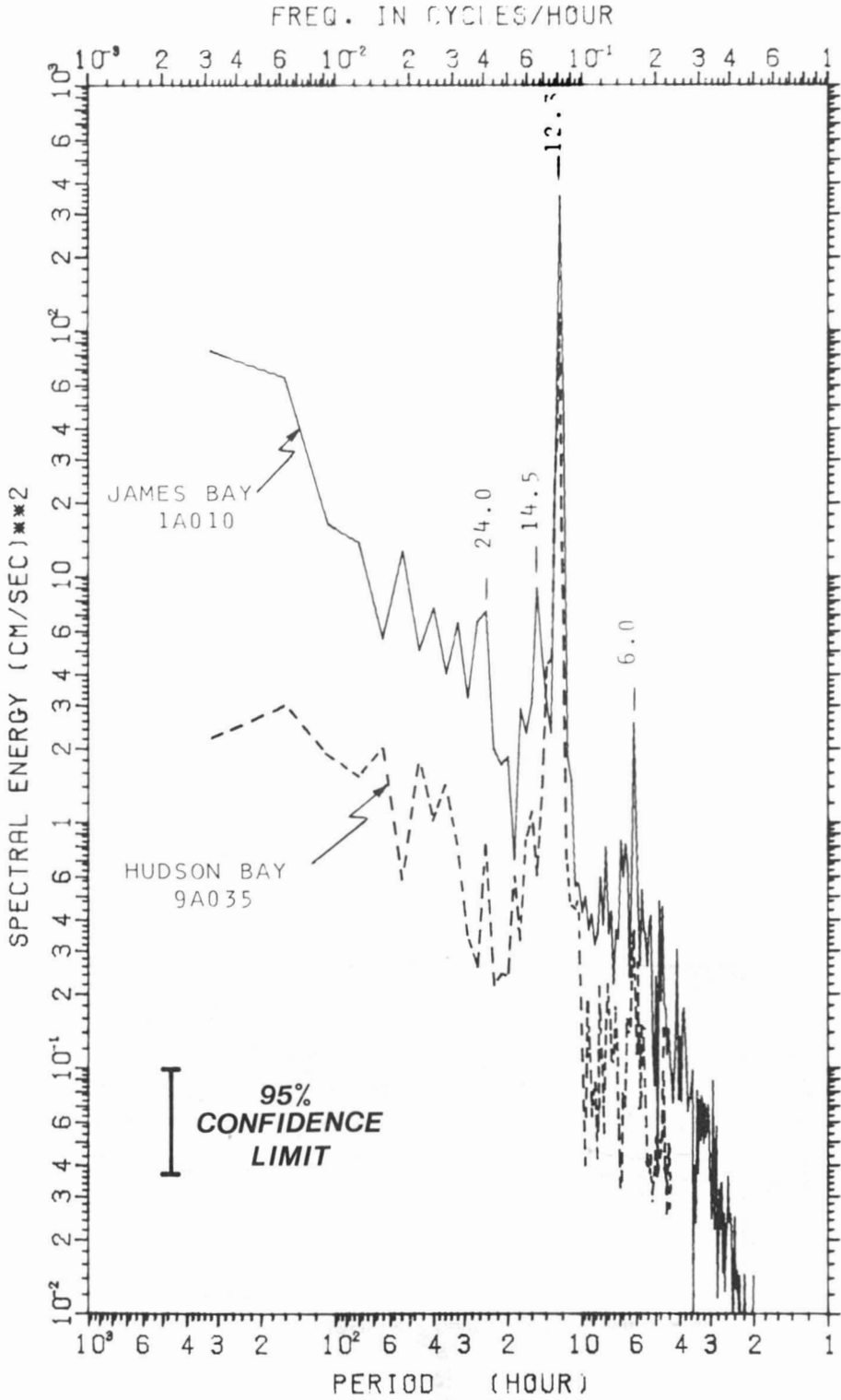
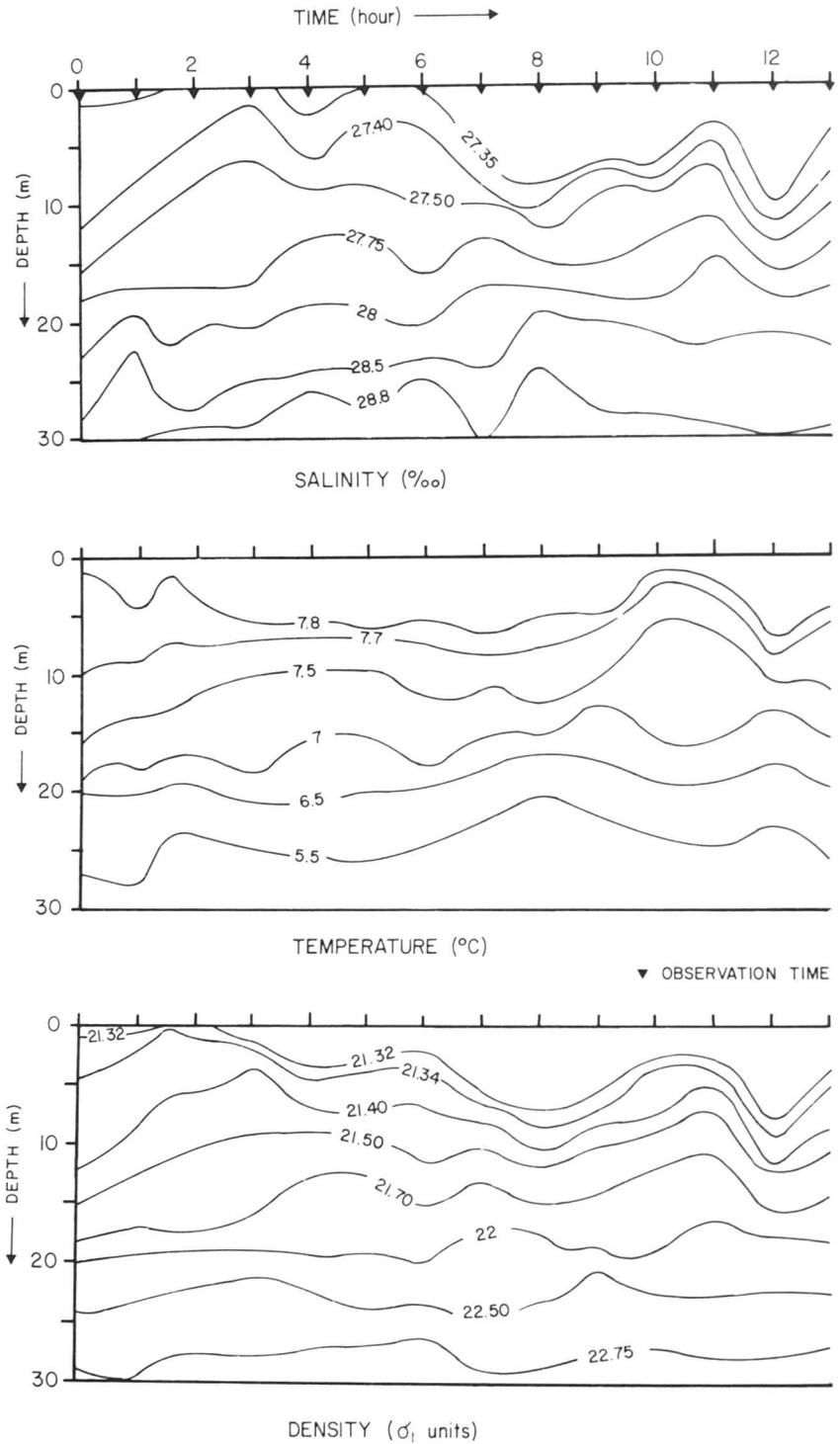


Figure 5. Spectra energy density plot of the easterly component of 9A035 (Hudson Bay) and northerly component of 1A010 (James Bay).





**Churchill Station, September 1st.**

Figure 6. Thirteen-hour time-series data of salinity, temperature and density observed offshore Churchill in 1975.

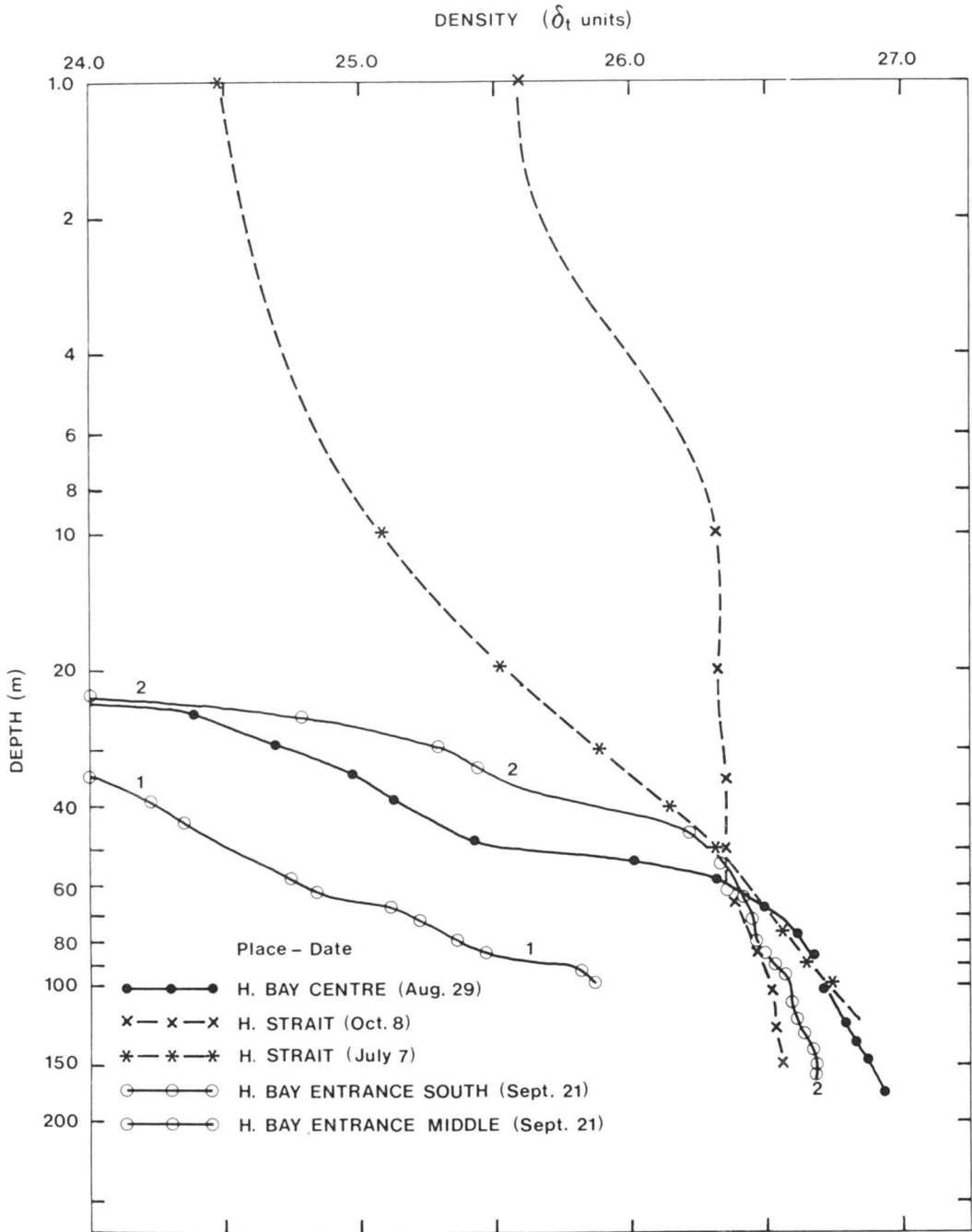


Figure 7. Density profiles from Hudson Strait, Hudson Bay entrance and Hudson Bay centre observed in 1975.

peratures depend critically on the previous year's ice thickness, as well as mean summer radiation (weather patterns).

Since no estimate of the winter salinity condition can be made, contributors to the

change in freshwater content between winter and summer can not be calculated. Only a summer freshwater content relative to a base salinity of 33‰ can be calculated. The freshwater content layer depth varies from 8.26 m in James Bay to 3.46 m in the northern

part of Hudson Bay, and has a mean of 4.66 m for the total area. For a yearly mean, fresh-water input is 64 cm per year. Considering that the ice cover can reach a thickness of 1.6 m, both runoff and ice melt play an important part in the seasonal cycle of the vertical salinity structure.

**Seasonal pycnocline model**

To investigate freshwater and heat content variation further, a simple one-dimensional model is used to describe seasonal variation of the pycnocline depth as a result of surface mass, heat and momentum fluxes. Existing surface mixed-layer models have been discussed by Niiler & Krauss (1977). The equation determining the depth *h* of the surface mixed-layer can be described by an energy balance equation:

$$\frac{1}{2} \frac{dh}{dt} \left\{ \frac{\Delta bh}{B} + \frac{m(u^*)^3}{D} + \frac{1}{2} \frac{B_o h}{E} - \epsilon_o h \right\} = H \tag{1}$$

where *B* is the work per unit time needed to lift the dense entrained water and mix it through the upper layer; *D*, the rate of work done by wind during open water conditions or done by tidal friction during ice-covered conditions; *E*, the rate of potential energy change produced by the mass and heat fluxes across the air-sea interface, and *H*, the dissipation of energy of the surface layer. It is assumed to be linearly proportional to the thickness of the surface layer depth *h* (Niiler, 1977).

In equation (1), *b* represents the buoyancy, *u\** the frictional velocity, *B<sub>o</sub>* the surface buoyancy flux, and *m* and *ε<sub>o</sub>* are constants derived from observations. Equation (1) is a reduced form and holds only for time steps greater than a half day. For shorter periods, inertial current shear becomes important. Although this term is ignored for large time steps, the depth attained due to the effect is used as a minimum value for each time step. It is given by:

$$h = \frac{u^*}{N} (2N/f)^{1/2} s^{1/2} \tag{2}$$

where *N* is the Brunt-Väisälä frequency, derived from  $N = (\partial b / \partial z)^{1/2}$  and *s* is another constant derived from observations.

The buoyancy *b* and buoyancy flux *B<sub>o</sub>* are related to the density *ρ*, heat flux *F<sub>h</sub>* and mass flux *F<sub>m</sub>*

$$b = g \left( \frac{\rho - \rho_o}{\rho_o} \right) = g \{ \alpha (T - T_o) + \beta (S - S_o) \} \tag{3}$$

$$B_o = \frac{g}{\rho_o} \left\{ \frac{\alpha}{c} F_h + \beta S_o F_m \right\} \tag{4}$$

where *g* is the gravity constant, *α* and *β* are linear approximations to the equation of state, *c* the thermal expansion coefficients of sea water, *S* and *T* the salinity of the water with a subscript "o" referring to the surface and "r" to the bottom layer. The frictional velocity is calculated from wind stress during the summer (Deacon & Webb, 1962) and from the relative velocity difference between ice and water during the winter (McPhee, 1979).

At each time step, surface heat and mass flux are used to calculate new surface salinity and temperature values after equation (1) has provided a new pycnocline depth. Changes in surface layer salinity and temperature values are

$$\frac{dT_o}{dt} = - \frac{dh}{dt} \frac{\Delta T}{h} - \frac{1}{\rho_o c h} F_h \tag{5}$$

$$\frac{dS_o}{dt} = - \frac{dh}{dt} \frac{\Delta S}{h} + \frac{S_o}{\rho_o h} F_m \tag{6}$$

where *ΔS* and *ΔT* are changes in salinity and temperature values found over *dh* below depth *h* with *ΔS* being negative and *ΔT* positive for an upwards *z*-axis.

The pycnocline reaches its maximum depth when *dh/dt* in equation (1) approaches zero. The depth then is caused by a balance between wind mixing and the buoyancy flux with some loss due to friction (*ε<sub>o</sub>*). This depth is given by

$$h = \frac{2m (u^*)^3}{2\epsilon_o - B_o} \tag{7}$$

During large storms in the fall, the equilibrium depth value as determined by equation 7 will be 20.1 and 30.8 m for the buoyancy flux values of *B<sub>o</sub>* = 1.52 × 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup> for October and *B<sub>o</sub>* = 3.06 × 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup> for November respectively.

The mass flux includes the effects of precipitation, evaporation, and runoff as discussed in detail in Prinsenberg (1980). To these, the freshwater exchange effects of the ablation and accretion of seasonal ice cover are added. The ice cover also influences the net heat flux coming out of the water as specific heat and heat of fusion are added to radiation fluxes (Danielson, 1969). When heat fluxes are integrated over the

entire year, their sum is nearly zero. However, this is not the case for mass fluxes. There is a net mass flux into the water equal to a layer of 64 cm/a over the entire surface area. In order to return to the same depth-integrated salinity value after a year, this salinity value is readjusted after each time-step to a fixed seasonal curve. The curve is assumed to have a seasonal oscillation of 0.7‰, with a maximum value at Julian day 120 (beginning of May) and a minimum value at Julian day 300 (beginning of November) as was observed in James Bay (Prinsenberg, 1978). After each time-step the temperature and salinity profiles are also adjusted by vertical diffusion which smoothes out steps left behind by vertical mixing.

The original purpose of the model was to simulate deepening of the pycnocline and cooling of the surface water as observed in the 1975 Hudson Bay summer data. Later, the simulation time was extended to a complete year. Three different conditions are considered, changing only one parameter each time. The pycnocline depth, surface salinity and temperature, as a function of time, are shown in Figure 8. Some important dates in the surface fluxes are shown in Table II.

Only summer data are available for comparison and are shown by "bars". Each bar is a mean of data from oceanographic stations from central Hudson Bay as observed at different dates of the summer of 1975.

Surface temperature and pycnocline depth curves describe observed summer data very well, and return to previous years value after a complete cycle. The winter temperature is around the freezing value of the surface water and the pycnocline reaches a depth of 62 m. Winter observations southeast of the Belcher Islands (Prinsenberg & Collins, 1979) show that the pycnocline occurs at depths of 60 to 80 m. Summer data (Fig. 7) also reveal vertical salinity and temperature changes at these depths. Although no winter data are available for central Hudson Bay, data from other areas in winter and summer indicate that the maximum depth attained by the model has the correct magnitude.

The modelled surface salinity does not return exactly to the value of the previous year. This may be caused by the fact that one contributor to the mass flux (runoff) is a boundary source and not a true surface

source such as all the other contributors to the mass and heat fluxes. In addition, no horizontal advective contributions can be modelled.

The diagrams show that the pycnocline depths in the early summer are just above the minimum depth value given by equation (2). The high runoff, heating and low wind speeds causes the depth values to remain low in the summer. As the summer progresses, the surface water will reach its minimum salinity and maximum temperature values before the pycnocline depth starts to increase. Late in the summer, wind stress increases, heat input and runoff decreases; all causing the pycnocline depth to increase. In fall, large storms and maximum cooling continues to deepen the pycnocline as does salt rejection in the early part of the winter. In winter the deepening rate decreases as ice growth slows down and stops decreasing when the surface layer receives more freshwater from runoff than it loses due to freezing. At this point, the depth of the pycnocline decreases quickly to the minimum value given by equation (2). During winter, the surface temperature remains very constant, while the surface salinity increases due to continued salt rejection and entrainment of deeper, saltier water. In spring, maximum runoff is followed by maximum melting and maximum heat flux, causing increased stabilization of the surface layer. The surface layer temperature increases and salinity decreases rapidly to values observed in the early summer.

Figure 8 shows the results for three conditions. These are the "pre-project" condition simulating a normal ice year without hydro-electric runoff modifications, the "post-project" condition in which the runoff was constant throughout the year, and the "light ice year" which has a reduced ice cover and a normal runoff cycle.

The light ice year and the post-project curves are started from the same observed summer conditions as the pre-project curve, so that no change between the three curves can be seen until the fall. For the light ice year, the reduction of salt rejection during freezing causes less deepening of the pycnocline and a smaller increase in the surface salinity. The reduction in ablation causes more cooling of the water itself and lowers the surface temperature. The temperature continues to be lower throughout winter, but increases more rapidly in spring when there

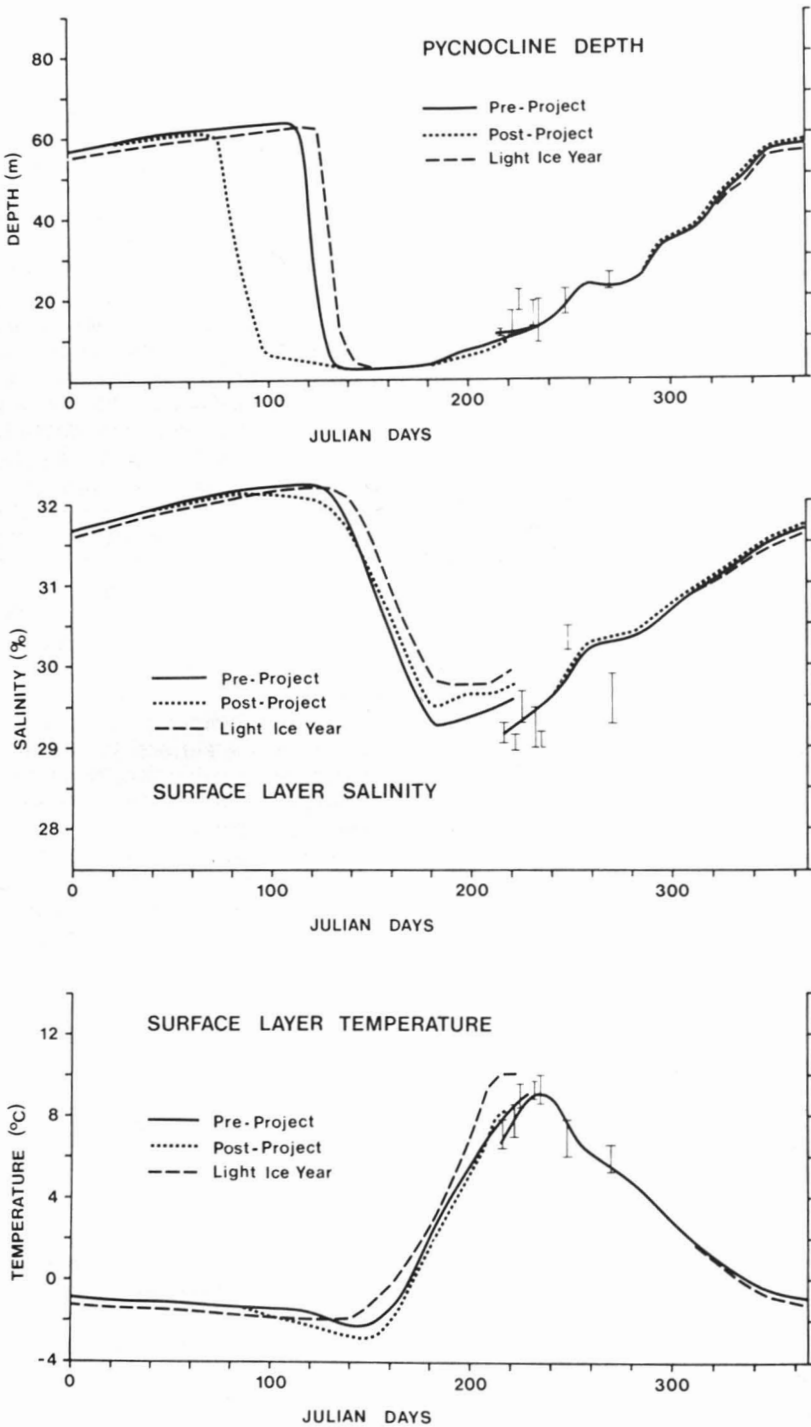


Figure 8. Predicted seasonal variation in the pycnocline depth, surface salinity and temperature for the centre of Hudson Bay as compared to observed data ranges (denoted by range bars) from the centre of the bay in 1975. Three curves are shown: — normal condition (pre-project), ---- constant runoff (post-project) and - - - light ice year.

TABLE II  
Some important dates in the surface fluxes

<i>Julian day</i>	<i>Month</i>	
40-100	February and March	Minimum runoff
120	Beginning of May	Maximum ice thickness
145	End of May	Maximum runoff
170	End of June	Maximum melting rate
185-205	July	Maximum heat flux
310-350	November to mid-December	Maximum cooling
340-360	December	Maximum freezing rate

is less ice to melt relative to the pre-project condition. The pycnocline depth increases more slowly throughout the winter, due to reduction in salt rejection. It decreases later in the spring to the minimum inertial depth, since the shallower winter-attained depth takes less energy to maintain than a deeper one. The surface salinity is thus lower in the winter, but higher in the spring as less ice melts.

The constant runoff case simulates the condition when the cumulative effects of individual hydroelectric developments could cause a constant year-round runoff. Although runoff affects the buoyancy flux directly, it affects the temperature indirectly, due to changes in the entrainment of bottom water. In winter, the larger runoff reduces the rate of deepening of the surface layer and the rate of increase of the surface salinity. In the later part of the winter the depth and salinity value of the surface layer become less than the pre-project case. Also the time when the buoyancy flux adds more freshwater by runoff than is taken away by freezing occurs earlier in the year and thus the return to a shallow pycnocline occurs earlier in the winter. The surface salinity is lower throughout the winter and spring as reduced runoff of the spring is now released in a shallower surface layer.

Variations between the three conditions of Figure 8 are an order of magnitude smaller than the large changes that occur between winter and summer season. Simple models of this kind can, however, be very helpful in determining the important seasonal contributions to a physical phenomenon and to see how they interact with each other to cause changes in the physical environment. Their variations in time (days, months and years) can then be better related to variation in circulation, vertical stability and distribution of oceanographic parameters.

### Conclusion

Data and model results indicate that oceanographic parameters are highly dependent on the wind stress and other weather-related fluxes. The wind stress and resulting currents vary on a daily time scale due to passing weather systems, and on a monthly and seasonal time scale due to large variability in mean weather conditions. The current meter data contain daily drift trajectories of twenty kilometres caused by passing weather systems and oscillatory tidal trajectories of 1.5 km amplitude. These periodic excursions can cause large variations in water properties observed at a fixed location where large horizontal property gradients exist. Depending on the required accuracy of the data, observations at two-hour intervals over a twenty-four-hour tidal period are required to average out large tidal effects.

The large dimension of the bay precludes sampling every station for twenty-five hours. A combination of more frequent sampling (space and time) in some areas and single sampling at the remaining areas should be carried out to obtain an understanding of the total area. Major contributors of observed phenomena in the more densely-sampled areas and an understanding of the on-going processes can then be applied to other areas where single data samples could be used as a starting condition.

Models such as the mixed-layer depth model and tidal model can predict seasonal variations at a single location. Further work is required to produce a circulation model to advect freshwater and heat contents throughout the system, an ice model to predict the ice accretion and ablation, and an air-sea interaction model to predict seasonal values of mass, heat and momentum fluxes between the water and air.

### Acknowledgments

The author would like to thank Dr. N.G. Freeman and Dr. E.B. Bennett for their numerous discussions of the work and for reading and suggesting changes to the manuscript, and Ms. B. Flemming and Mr. J. Anning for the assistance with the programming and analysis of the time-series data.

Mrs. J. Fiddes and Miss M. Martelli are thanked for their patience in typing the various drafts of the manuscript, and Mr. J. Elliot for over-viewing the cartographic work.

### References

- BARBER, F.G., 1967. A contribution to the oceanography of Hudson Bay. — *Mar. Sci. Br.*, Dept. of Mines and Technical Surveys, Ottawa, Ms. Rep. Ser., no. 4, 68 p.
- CANADIAN GOVERNMENT, 1968. Climatic normals. Vol. 5, Wind. — *Met. Br.*, Dept. of Transport, Toronto, 95 p.
- DANIELSON, E.W., Jr., 1969. The surface heat budget of Hudson Bay. — McGill University, Montréal, Ms. Rep., no. 9, 196 p.
- DEACON, E.L. & E.K. WEBB, 1962. Small scale interactions. — Pages 43-86 in M.N. Hill (ed.). *The sea*, Vol. 1. Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York, 864 p.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 1969. Rivière Harricana. Révision des débits journaliers de 1914 à 1966. — *Min. Rich. Nat.*, Québec, 71 p.
- McPHEE, M.G., 1979. The effect of the oceanic boundary layer on the mean drift of pack ice: application of a simple model. — *J. phys. Ocean.*, 9: 388-400.
- MURTY, T.S. & K.B. YUEN, 1973. Balanced versus geostrophic wind-stress for Hudson Bay. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 53-62.
- NIILER, P.P., 1977. One-dimensional models of the seasonal thermocline. — Pages 97-115 in E.D. Goldberg, I.N. McCave, J.J. O'Brien & J.H. Steele (eds.). *The sea*, Vol. 6. Marine modelling John Wiley and Sons, New York, 1048 p.
- NIILER, P.P. & E.B. KRAUS, 1977. One-dimensional models of the upper ocean. — Pages 143-172 in E.B. Kraus (ed.). *Modelling and prediction of the upper layers of the ocean*. Pergamon Press, 325 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1977. Hudson Bay oceanographic data report 1975, vol. 1. — *Ocean and Aquatic Sci.*, Environment Canada, Burlington, Data Rep. Ser., no. 77-1, 308 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1978. Analytical study of the circulation of James Bay. — *Ocean and Aquatic Sci.*, Environment Canada, Burlington, Ms. Rep. Ser., no. 6, 55 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1980. Man-made changes in the freshwater input rates of Hudson and James Bays. — *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 1101-1110.
- PRINSENBERG, S.J. & D. COLLINS, 1979. Hudson Bay/Great Whale oceanographic data report, winter 1977. — *Ocean and Aquatic Sciences, Fish. and Environment Canada*, Burlington, Data Rep. Ser., no. 79-3, 231 p.
- PRINSENBERG, S.J. & F.W. DEYS, 1979. Hudson Bay oceanographic data report, Vol. 2. — *Ocean and Aquatic Sci.*, Fish. and Oceans Canada, Burlington, Data Rep. Ser., no. 79-4, 191 p.
- PRINSENBERG, S.J. & R. GOTTINGER, 1979. Heat and fresh water contents in Hudson Bay and James Bay. — *Ocean and Aquatic Sci.*, Fish. and Environment Canada, Burlington, Ms. Rep. Ser., no. 8, 79 p.
- SIMONS, T.J., 1980. Circulation models of lakes and inland seas. — *Bull. Can. Fish. Aquat. Sci.*, no. 203, 145 p.
- STARK, R.G. & A.H. CAMPBELL, 1979. The Hudson Bay meteorological drifting buoy experiment. — *Can. Climate Center, Atmospheric Environment Service*, Downsview. Presented at 13th Annual Congress of Can. Met. and Ocean. Soc., Univ. of Victoria, B.C., 10 p.

## WATER FLOW INTO FOXE BASIN THROUGH FURY AND HECLA STRAIT

H. E. SADLER<sup>1</sup>

*Defence Research Establishment Pacific  
FMO Victoria, British Columbia*

### Résumé

Ce mémoire est un bref aperçu des observations, faites à six endroits différents en avril et mai 1976 dans le détroit de Fury et Hecla, sur la hauteur des marées et les courants marins. Les caractéristiques de la marée varient linéairement le long du Déroit et la marée à l'est des îles Ormonde et Elder se comporte comme celle du bassin Foxe. Les différences de phase sont à l'origine des courants rapides dans les goulets entre les îles, ce qui produit des polynies. Les courants mesurés à proximité du milieu du Déroit présentent une composante importante de marée avec des vitesses pouvant atteindre 0,5 m/s. Les courants résiduels montrent un flux moyen de  $0,45 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$  en direction est, avec un petit flux en sens contraire de  $0,006 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$  du côté sud du chenal entre 20 et 50 mètres de profondeur. L'écoulement annuel approximatif ( $1,2 \times 10^{12} \text{m}^3$ ) dans le bassin Foxe représente environ un quart du volume total du bassin et en affecte l'océanographie de façon importante.

### Abstract

The paper presents a brief survey of waterlevel and current observations made in Fury and Hecla Strait in April and May 1976. The main results of tide level observations at six stations show that the character of the tide changes linearly along the strait and that the waters east of Ormonde and Elder Islands behave as part of Foxe Basin rather than as part of the strait. The phase differences give rise to rapid currents in the narrow channels between the islands, resulting in polynyas. The currents, measured near the mid-point of the strait, have a large tidal component with velocities up to 0.5 m/s. The residual currents indicate a mean flow of  $0.045 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$  to the east, with a small westerly flow of  $0.006 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$  on the south side of the channel between 20 and 50 m depth. The approximate net annual transport into Foxe Basin ( $1.2 \times 10^{12} \text{m}^3$ ) is about one quarter of the total volume of the basin and should have important effects on its oceanography.

### Introduction

Fury and Hecla Strait is the smallest of the four channels which connect the Arctic Ocean to the Atlantic through the Canadian Archipelago. The strait extends about 120 km from the Gulf of Boothia to Elder and Ormonde Islands which partially block the eastern end (Fig. 1). In the main part of the strait the width varies from 15 to 30 km while the depth along the axis appears to be fairly constant at about 170 m. Three narrow channels connect to Foxe Basin; Adolf

Jensen Sound and "Middle Channel"<sup>2</sup> are both less than 0.5 km wide and open at their eastern end into a clutter of small islands and reefs, while Labrador Narrows has a length of 5 km between Cape Lilly and Northeast Cape, a fairly constant width of 2 km and a depth of more than 100 m throughout. East of Ormonde Island the water is shallow, averaging about 30 m except in the eastward extension of Labrador Narrows along the Bouverie Island chain, where a slightly deeper channel is found.

<sup>1</sup> Present address: National Defence Headquarters, 101 Colonel By Drive, Ottawa, Ontario K1A 0K2

<sup>2</sup> Names in quotation mark have not been approved by the Canadian Standing Committee on Geographical Names.



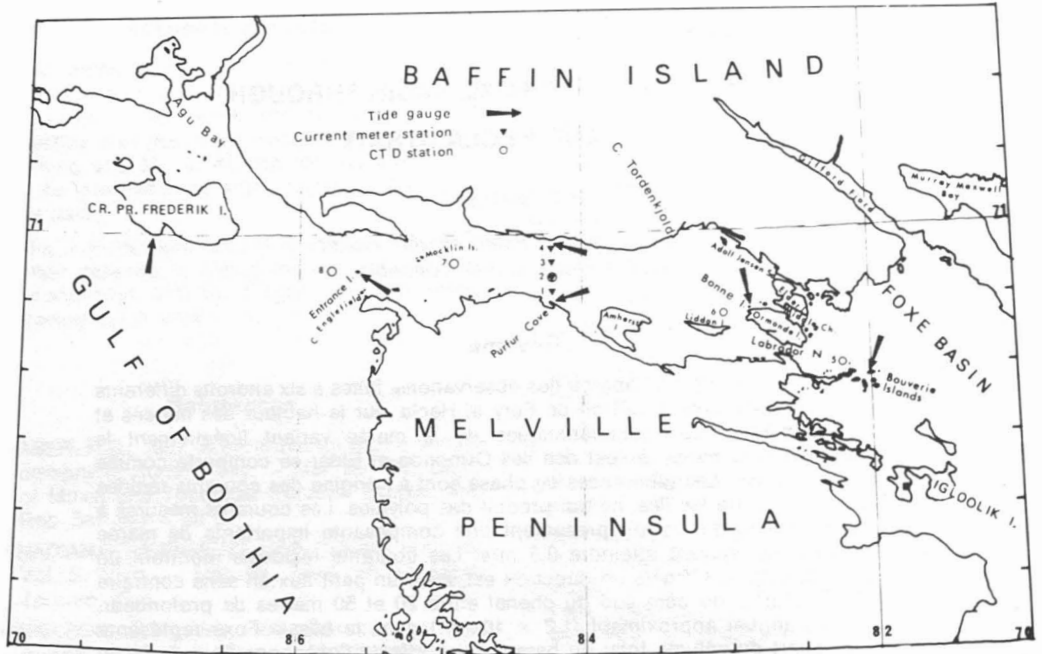


Figure 1. Fury and Hecla Strait showing the locations of observations. The strait connects the Gulf of Boothia and Foxe Basin.

The strait has not been systematically charted except for a 10 km wide strip north from Purfur Cove. William Parry tried to get through in 1822 in his adapted bomb vessels, HM Ships "Fury" and "Hecla", for which the strait was named, but was stopped by ice around Amherst Island. The next attempt by ship was in 1910 when Bernier in the CGS Arctic was prevented by heavy ice in the Gulf of Boothia from entering the channel from the west (Anonymous, 1911). The first successful passages were made in September 1948 by two icebreakers, the USS Edisto and the USCGS Eastwind which encountered no difficulties in either of their journeys east, Eastwind occupying four stations on the way (Anonymous, 1948). In September 1956, HMCS Labrador made the first passage from east to west and also obtained oceanographic data inside the strait (Campbell & Collin, 1956; Collin, 1958). The first current measurements were made in 1960 from the CSS Baffin (Barber, 1965) and other data were obtained in the immediate area in 1961 and 1962 (Anonymous, 1966; Barber & Huyer, 1971).

The strait itself is normally clear of ice for a period each summer, and the winter ice is generally smooth and free of ridges except around the shores. The main obstacle to passage through the strait is heavy ice off the

western entrance in the Gulf of Boothia. Ice-free areas exist all year in the three channels at the eastern end. In Adolf Jensen Sound and "Middle Channel" these polynyas are only one or two hundred metres in diameter, but the one in Labrador Narrows covers the full 2 km width of the channel and is several kilometres long even in mid-winter (Fig. 2). Eastward of Ormonde Island fast ice of normal thickness forms each winter and extends beyond Igloolik Island to the region of moving ice in the central part of Foxe Basin.

## Observations and results

### WATER LEVEL STATIONS

The field party established six water level stations on fixed floating ice in late April 1976 at positions spaced along the axis of the strait between Crown Prince Frederick Island and a small island near the eastern end of the Bouverie Island chain (Fig. 1). We used Ott R-16 type recording meters which measure the vertical movement using a fine wire anchored to the sea-bed. A flexible tide staff provided calibration and also enabled us to adjust for the vertical displacement of one of the meters by an interfering bear. Serson & Finlayson (1977) have discussed

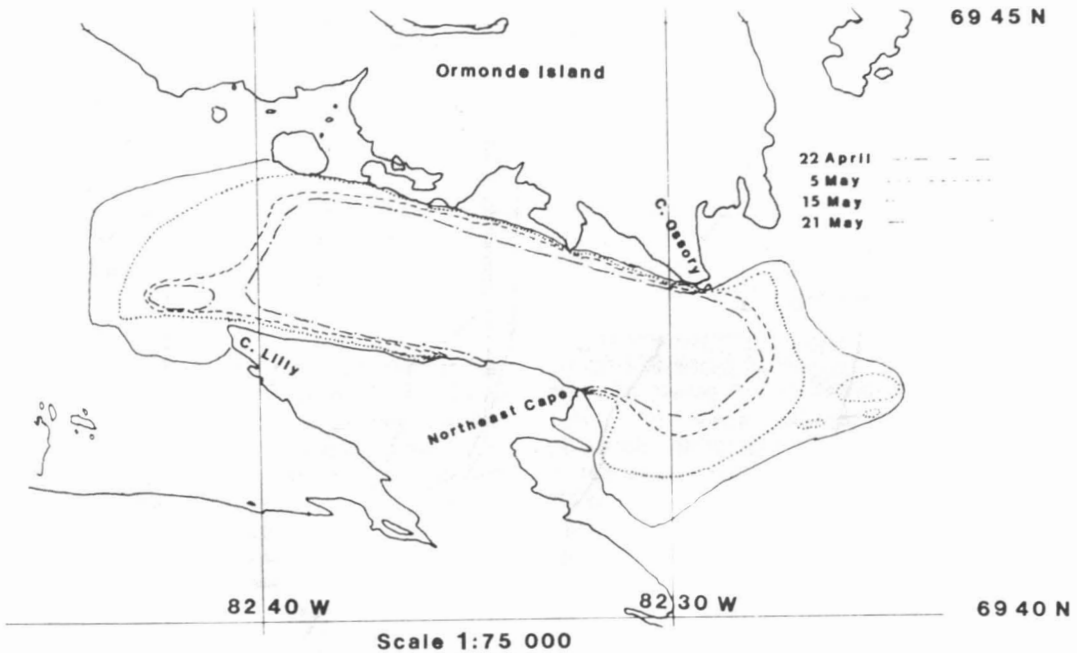


Figure 2. Labrador Narrows showing the size of the polynya on four dates in 1976.

the method used and the necessary precautions which must be taken. Four of the instruments were leveled in from bronze survey markers set in bedrock on shore, the others being too far away from shore for accuracy.

The records were essentially complete all six stations over periods of 30 to 36 days. The results show that the range of the tide, which was 2 m at Purfur Cove, and the phase lag of high water increased linearly from Crown Prince Frederick Island to "Bonne Island". At the same time the F-factor (Godin & Taylor, 1973) which gives a measure of the relative importance of the diurnal and semi-diurnal tidal constituents, decreased linearly from about 1.8 at Crown Prince Frederick Island to 1.1 at "Bonne Island". A mixed, mainly diurnal tide became a mixed tide as it progressed easterly along the strait. The station near the end of the Bouverie Island chain did not conform to this pattern, following much more closely the predictions for Igloolik in both phase and type. The phase difference of up to an hour between Bonne Island and Bouverie Island results in a maximum difference in surface level of about 0.5 m on the east-going flood tide and a little less on the ebb. Simple theory indicates that a hydrostatic head of this magnitude should result in currents in Labrador Narrows of the order of 3 m/s on the flood

tide and this estimate is supported by visual observation of floating brash ice in the polynya.

The polynya in Labrador Narrows (Fig. 2), caused by this rapid flow, was about 14 km<sup>2</sup> in area on 22 April 1976, increasing to 32 km<sup>2</sup> by 21 May, most of the necessary heat being supplied by the upward mixing of slightly warmer bottom water. The water entering Foxe Basin should thus be homogeneous.

#### DENSITY STRUCTURE

A Guideline Mk II CTD instrument on 150 m of hand-lowered cable was intended to give temperature and conductivity profiles. Unfortunately, due to the failure of a correction circuit, the conductivity record gave only comparative values. The only absolute salinity values are those obtained from Knudsen bottle samples at station 2 which were analysed with a Guideline "Autosal" salinometer. The results show that over the main part of the strait there was a small but definite pycnocline at about 40 m depth. The temperature results (Fig. 3) show that the thermocline disappears at stations 5 and 6, at opposite ends of Labrador Narrows. The relative conductivity curves (not shown) also reveal that the pycnocline disappears at these locations due to the intense turbulence in the narrows resulting from the high currents.

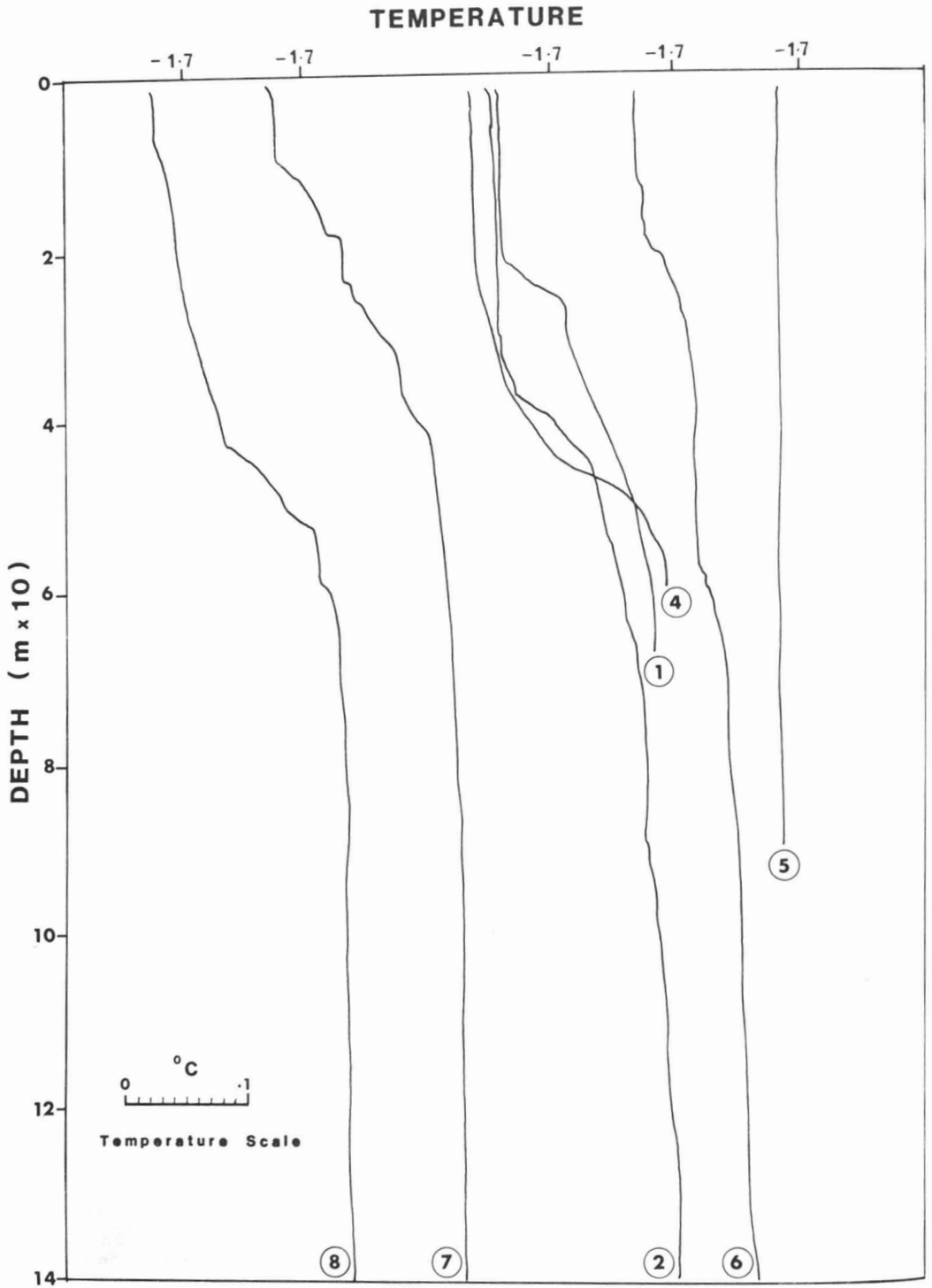


Figure 3. Temperature profiles at stations along Fury and Hecla Strait. Stations 5 and 6 were near the east and west ends respectively of Labrador Narrows. Each profile begins at a temperature just below  $-1.7^{\circ}\text{C}$  at the surface.

On 1-2 May the depth of the thermocline in the central part of the strait varied between 18 and 42 m over 24 hours; this was due to internal waves with two prominent periods of about 5 hours and 45 minutes. The temperature and conductivity data indicate that the pycnocline is small ( $0.65 \sigma_t$  units), but it was present at a mean depth of about 30 m at all stations from Purfur Cove west to the Gulf of Boothia.

#### TRANSPORT

A current meter array, established at four stations on a line north from Purfur Cove, consisted of five Marsh-McBirney electromagnetic recording meters and nine Braincon Type 206 Savonius rotor meters. The electromagnetic meters were mounted on rigid, oriented tube supports while the Savonius rotor meters were suspended from a wire mooring stretched between an anchor on the sea-bed and the fixed ice cover. The recordings show strong tidal components with maxima of the order of 0.5 m/s along the axis of the strait. The residual axial currents, averaged over a full tidal period of 29 days, are shown in Figure 4. The isotachs show that there was a general easterly drift in May 1976 with a westerly flow in the southern half of the strait between the 20

and 50 m levels. The integrated average of the net easterly drift was  $0.045 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  with a westerly transport of  $0.006 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . The daily mean values for transport were sensitive to changes in the barometric pressure measured at Igloodik. There were complete reversals of the easterly drift on 12 and 19 April during the passage of two low pressure systems.

#### Discussion

The net easterly transport of about  $0.04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  is small compared to the  $0.67 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  for Nares Strait (Sadler, 1976) and the  $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  estimated for Lancaster Sound (Kiilerich, 1939). It is still an important factor in the circulation of Foxe Basin. If the May 1976 transports are taken as first approximations to the annual mean transports, then the annual influx to Foxe Basin is about  $1.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$  and the westerly counterflow is  $0.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . The total volume of Foxe Basin is only about  $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , that of the shallow north half, north of  $67^\circ \text{ N}$ , being only about  $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . The small annual transport through Fury and Hecla Strait is a large fraction of the total volume of the basin. The details of the currents in Foxe Basin are not yet known, but the general pattern is that of a counterclockwise circulation with strong

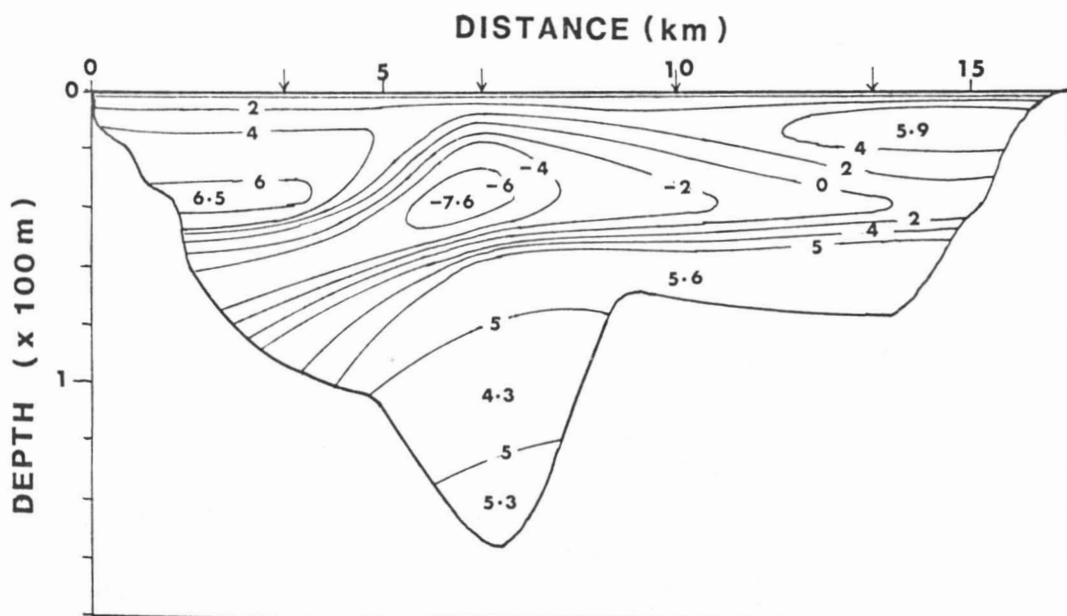


Figure 4. The isotachs of the axial components of the mean residual velocities through the cross-section of Fury and Hecla Strait at Purfur Cove in April-May 1976. Easterly velocities are positive and the magnitudes are given in  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . The locations of the current meter moorings are indicated by the small arrows on top of the diagram.

tidal components superposed. A southerly set of about 0.25 m/s along the western shore probably includes much of the influx through Fury and Hecla Strait. The set is most pronounced near the shore and it is possible that some of this water is deflected through Frozen Strait and Roes Welcome Sound into Hudson Bay. How much of the Fury and Hecla water becomes involved in the return northerly flow on the eastern side of the basin is known.

The residual net transport is sensitive to the barometric gradients along the strait but insufficient data are available to quantify this effect. Similarly, there are no data available on any seasonal changes in the flow and these may be quite large. Barber (1965), for example, detected Foxe Basin water at the surface near Purfur Cove in September. The extrapolation of the May 1976 transports to give an estimate of the annual mean transports must be viewed with caution and year-round observation will be needed to improve the estimate.

The tides in Fury and Hecla Strait progress easterly from the Gulf of Boothia, changing character in the process from mixed, mainly diurnal to mixed tides. The range of the tides increases by about 20% in the process, being about 2 m at Purfur Cove. The times of high and low water change linearly along the strait, being about 45 minutes later at Bonne Island than at Crown Prince Frederick Island. The tides east of Ormonde and Elder islands are not coupled with those in the strait and are controlled by the tidal regime of Foxe Basin.

The temperature and limited conductivity data indicate a small (0.65  $\sigma_t$  units), but definite, pycnocline at about 30 m depth at all stations in the vicinity of Purfur Cove and further west. The profiles taken over two separate periods of 24 and 2.5 hours at stations 2 and 7 respectively indicate internal waves on the thermocline with amplitude up to 15 m. The two main components had periods of approximately 5 hours and 45 minutes respectively, neither of which can be explained as a simple mode for the channel.

A discussion in greater detail, with more of the data presented, may be found in an unpublished report (Sadler *et al.*, 1979).

We clearly need a lot more data before we can make even an approximate estimate of the effects of the flow through Fury and Hecla Strait on the Foxe Basin/Hudson Bay

system. Not only are the data on current circulation and water characteristics in the area very few, but most of them were obtained during the spring and summer months. Additional factors, such as the excess salinity due to greater than average freezing over the leads in the moving winter pack ice, are particularly important in regions of shallow water where the mixing zone presumably reaches the sea bottom. Several mining ventures are in the detailed planning stage and continuing interest in the use of this route by LNG and oil tankers make such studies urgent, particularly since Foxe Basin is probably one of the most productive areas for wildlife in the whole Arctic. It has been continuously occupied by man for at least 4000 years (Crowe, 1974) and hunting still provides an important part of the maintenance of the 1500 Inuit in the area.

The large population of animals near the top of the food chain (Mansfield, 1967) implies a steady supply of nutrients, an important part of which may be imported through Fury and Hecla Strait and the distribution of nutrients and contaminants by the currents in the whole system urgently requires investigation.

*Note.* At time of printing, F. Barber has informed that a hydrographic survey in Labrador Narrows has disclosed in 1981 a pinnacle in the channel between Liddon and Ormonde islands. No details are available as yet on the extent or on the depth of the water over it, but it may be a hazard to deep draught vessels.

## References

- ANONYMOUS, 1911. Report on the Dominion Government expedition to the northern waters of the Arctic Archipelago of the D.G.S. Arctic in 1910. — Canada DOMF Rep., Canada Dept. Mar. Fish., Ottawa, 32 p.
- ANONYMOUS, 1948. Voyage of the U.S.N. Task Force 80. — *Arct. Cir.*, no. 1, 14 p.
- ANONYMOUS, 1966. Arctic 1961. — Canadian Oceanographic Data Centre, Data Record Series, no. 4, 6 p.
- BARBER, F.G., 1965. Currents in Fury and Hecla Strait. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 22: 225-229.
- BARBER, F.G. & A. HUYER, 1971. On the waters of the Canadian Archipelago. An atlas presentation of 1961 and 1962 data. — MS Rep. Ser. no. 21, Marine Sciences Branch, Environment Canada, 14 p.
- CAMPBELL, N.J. & A.E. COLLIN, 1956. A preliminary report of some oceanographic features

- of Foxe Basin. — Fish. Res. Bd Can., Biol. Station MS, 21 p.
- CAMPBELL, N.J. & A.E. COLLIN, 1957. The discolouration of Foxe Basin ice. — Fish. Res. Bd Can., MS Rep. Ser., no. 6, 27 p.
- COLLIN, A.E., 1958. An oceanographic study of Prince Regent Inlet, the Gulf of Boothia and adjacent waters. — MS Rep. Ser. no. 13, Fish. Res. Bd Can., 38 p.
- CROWE, K.J., 1974. A history of the original peoples of northern Canada. — AINA, McGill-Queen's Univ. Press, Montréal and London, 235 p.
- GODIN, G. & J. TAYLOR, 1973. A simple method for the prediction of the time of high and low water. — Int. hydrogr. Rev., 50: 75-81.
- KIILERICH, A.B., 1939. A theoretical treatment of the hydrographical observational material, Godthaab Expedition 1928. — Meddr Grønland, 78: 1-149.
- MANSFIELD, A.W., 1967. Seals of arctic and eastern Canada. — Bull. Fish. Res. Bd Can. no. 137, 110 p.
- SADLER, H.E., 1976. The flow of water and heat through Nares Strait. — J. Fish. Res. Bd Can., 33: 2286-2295.
- SADLER, H.E., H.V. SERSON & R.K. CHOW, 1979. The oceanography of Fury and Hecla Strait. — Tech. Memo. no. 79-11, Defence Research Establishment Pacific, 61 p.
- SERSON, H.V. & D. FINLAYSON, 1977. Water level measurements from floating ice cover. — Tech. Memo. no. 77-17, Defence Research Establishment Pacific, Victoria, B.C., 24 p.



## SPRING-NEAP VARIATION IN THE VERTICAL STRATIFICATION OF CHESTERFIELD INLET, HUDSON BAY

W. P. BUDGELL

*Ocean Science and Surveys, Department of Fisheries and Oceans  
Canada Centre for Inland Waters, P.O. Box 5050  
Burlington, Ontario L7R 4A6*

### Résumé

Selon les données obtenues durant l'été 1978, l'alternance des marées de vive-eau et de morte-eau influe fortement sur la stratification et les conditions de mélange de Chesterfield Inlet. La stratification diminue en vive-eau et s'accroît en morte-eau par suite des variations de l'énergie des marées impliquées dans le mélange vertical. Les séries temporelles d'un point fixe à l'embouchure de l'estuaire montre que ces changements sont intimement liés à ceux de la racine carrée moyenne de la vitesse du courant de marée. La variabilité spatiale des conditions de mélange ne permet toutefois pas de décrire par une relation simple l'effet de la vitesse et du flux d'eau douce sur la stratification de l'ensemble de l'estuaire. Selon la classification de Hansen-Rattray, Chesterfield Inlet est un estuaire du type II en vive-eau et du type III en morte-eau. La circulation en deux couches est plus importante pour le transport des sels en amont en morte-eau qu'en vive-eau.

### Abstract

Physical oceanographic data collected during the summer of 1978 indicate that the spring-neap tidal cycle has a major influence upon the stratification and mixing characteristics of Chesterfield Inlet. Stratification decreases at spring tide and increases at neap tide due to the variation in the tidal energy available for vertical mixing. Analysis of time series data collected at a mooring near the mouth of the estuary reveals that changes in stratification are closely associated with changes in the root mean square tidal velocity. The great variability in the mixing characteristics of Chesterfield Inlet precludes the possibility of obtaining simple relationships which describe the influence of the tidal velocity and freshwater inflow upon stratification over the whole estuary. A Hansen-Rattray classification analysis shows that Chesterfield Inlet is a Type II estuary under spring tide conditions and is a Type III estuary under neap tide conditions. These results indicate that the two-layer gravitational circulation is more important in the upstream transport of salt at neap tide than at spring tide.

### Introduction

The vertical stratification in estuaries has been generally assumed to vary over time scales of hours and months, due to the diurnal and semidiurnal tidal cycles (Bowden & El Din, 1966) and seasonal variations in the freshwater inflow (Officer, 1976), respectively. However, Haas (1977) has shown that, in three partially-mixed estuaries flowing into Chesapeake Bay, fortnightly variations associated with the spring-neap tidal cycle are important, as well. Haas found that the vertical stratification in the James,

York and Rappahannock rivers decreased at spring tides and increased at neap tides. Godfrey (1980) demonstrated that the changes in stratification over a spring-neap cycle in the James River observed by Haas are attributable to variations in the strength of tidal mixing. In a study of the mixing characteristics of Southampton Water, Dyer (1980) found that stratification was less and that turbulent mixing was possible over a greater portion of the semidiurnal tidal cycle during spring tide, than during neap tide. There is evidence to suggest that such variations in vertical stratification and mixing



over a spring-neap cycle influence nutrient levels (Webb & D'Elia, 1980) and phytoplankton distributions in coastal waters (Pingree *et al.*, 1976; Balch, 1981). In this paper, it will be shown that Chesterfield Inlet, a highly energetic Arctic estuary, not only undergoes considerable changes in stratification and stability from spring to neap tides but that the estuarine classification of the inlet changes between these two stages of the tide.

### Physical characteristics of Chesterfield Inlet

Chesterfield Inlet is a 220 km long estuary situated 500 km north of Churchill, Manitoba in the northwest corner of Hudson Bay, draining a catchment area of 287,100 km<sup>2</sup> (Fig. 1). The sources of fresh water for Chesterfield Inlet are Baker Lake, the Quoich River and Barbour Bay (Fig. 2). The rate of freshwater inflow into Chesterfield Inlet during the summer of 1978 varied from 4,300 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> in early August to 1,600 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> in late September.

Chesterfield Inlet consists of a trough gouged from bedrock by glacial action (Wright, 1967). The depth of the trough varies from 100 m at the mouth to 7 m at the entrance to Baker Lake. Over most of the estuary the trough depth is between 50 and 80 metres. The channel width is typically 4,000 to 6,000 m in the lower third of the estuary and is 1,000 to 2,500 m over the remainder. The inlet is characterized by sharp changes in width and depth over short distances and by extreme channel curvature in several locations.

Tidal forcing is strong everywhere in the inlet with tidal ranges of 5 m at spring tides and 2 m at neap tides occurring in the lower third of the estuary. Over the remainder of the estuary the spring tide ranges ~ 3 m and the neap tide ranges ~ 1.5-2 m (Budgell, 1976). Tidal influence is strong in the inlet up to the entrance to Baker Lake, where the combination of tidal dissipation at a shallow sill and the sharp increase in cross-sectional area reduces the tidal range to less than 10

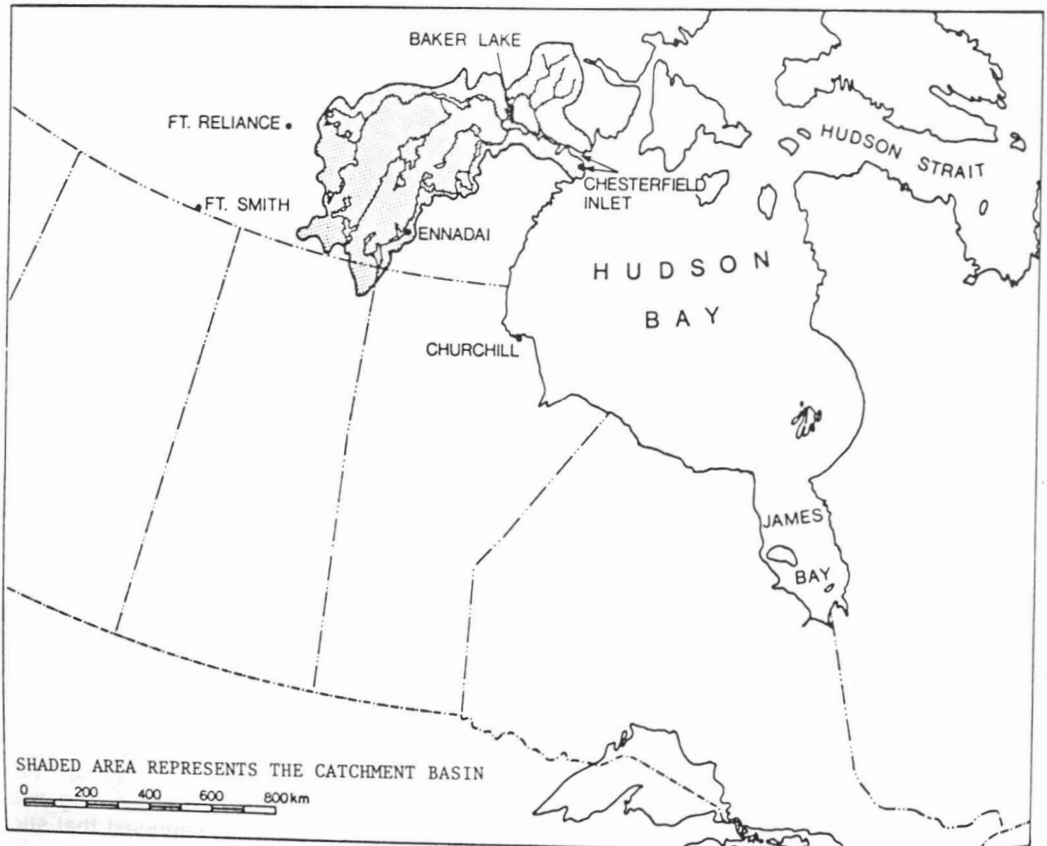


Figure 1. Location of Chesterfield Inlet and its catchment basin.

cm. Recently analyzed data reveal that tidal current amplitudes are in excess of 100 cm/s throughout the estuary and that current speeds of 150-200 cm/s are observed near channel constrictions (Budgell, in prep.). Time series analyses of current meter records reveal that the amplitude of the  $S_2$  constituent is 0.3 to 0.4 of that of the  $M_2$ , and that the amplitude of the  $N_2$  is 0.1 to 0.2 of that  $M_2$ . Thus, the modulation of the semidiurnal tidal current into a fortnightly spring-neap cycle will be important over the whole estuary. A 27.6 day beat frequency in the semidiurnal current caused by the  $M_2$  and  $N_2$  constituents, while of lesser importance, is also present in the time series.

### Materials and methods

During August and September 1978, temperature, salinity, current speed and current direction were sampled at the 13-hour profiling stations and at the current meter mooring shown in Figure 2 (Brooks, 1979). The profiling stations consisted of measurements taken at 12 to 14 depths every one-half hour over a semidiurnal tidal cycle from a 60 m long vessel anchored at its bow. The profile measurements were obtained using a combined Guildline MK IV CTD-Endeco current meter unit. The data were recorded on-line on magnetic tape cartridges using a data-logging unit.

The current meter mooring consisted of three Aanderaa RCM-4 current meters situat-

ed at 10, 30 and 60 m depths. The current meters were left in place for 29 days sampling at 10 minute intervals.

### Results and discussion

#### VERTICAL PROFILE CHARACTERISTICS

An examination of the tidally-averaged profile station data reveals that major changes in the vertical structure of the estuary take place between spring and neap tides. Plots of tidally-averaged spring and neap salinity, longitudinal velocity and vertical stability for two locations, stations 9 and 29, are shown in Figures 3 and 4, respectively. Station 9 is situated near the mouth, while station 29 is located near the midpoint of the estuary. These profiles were found to be typical of the spring-neap variation occurring in Chesterfield Inlet.

It can be seen from the salinity profiles that the stratification increases considerably from spring to neap tide at both locations. The strength of the two-layer density circulation, defined as the maximum down-estuary (positive) minus the maximum up-estuary (negative) tidally-averaged longitudinal velocity components over the water column, is diminished at spring tide at station 9, but there is no appreciable difference between the spring and neap velocity profiles at station 29.

The vertical stability is represented by a local Richardson number,  $Ri$ , computed in the following manner:

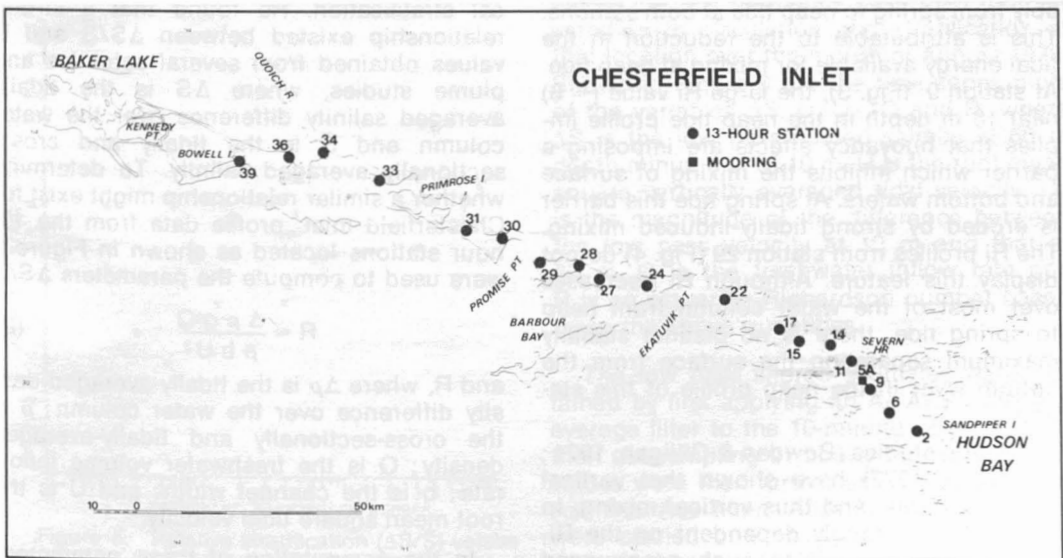


Figure 2. Chesterfield Inlet showing profile station and mooring locations.

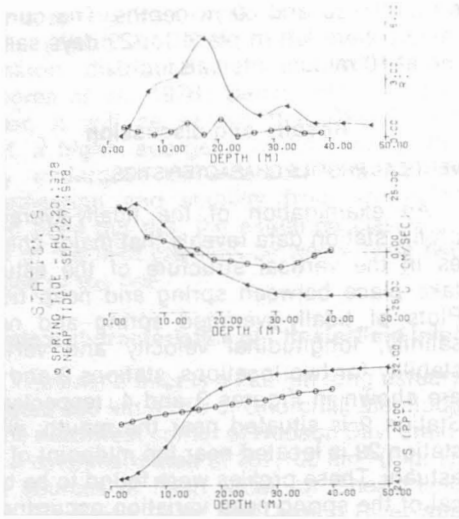


Figure 3. Tidally-averaged salinity, longitudinal velocity and Richardson number profiles at station 9.

$$Ri = \frac{g}{\langle \rho \rangle} \frac{\partial \langle \rho \rangle}{\partial z} / \left\langle \left[ \frac{\partial u}{\partial z} \right]^2 \right\rangle \quad (1)$$

where *g* is acceleration due to gravity;  $\rho$  is density; *z* is the vertical distance coordinate (positive downwards); *u* is the velocity and  $\langle \rangle$  denotes the tidal average of the enclosed quantity.

As *Ri* increases, the water column becomes dynamically more stable and vertical mixing is suppressed (Turner, 1973). As shown in Figures 3 and 4, the dynamic stability of the water column increases appreciably from spring to neap tide at both stations. This is attributable to the reduction in the tidal energy available for mixing at neap tide. At station 9 (Fig. 3), the large *Ri* value ( $\approx 6$ ) near 18 m depth in the neap tide profile implies that buoyancy effects are imposing a barrier which inhibits the mixing of surface and bottom waters. At spring tide this barrier is eroded by strong tidally-induced mixing. The *Ri* profiles from station 29 (Fig. 4) do not display this feature. Although *Ri* decreases over most of the water column from neap to spring tide, there is no distinct stability maximum separating the surface from the bottom layer in the neap profile of this station.

Several studies (Bowden & Gilligan, 1971; Blumberg, 1977) have shown that vertical eddy diffusivity, and thus vertical mixing, in estuaries, is strongly dependent on the Richardson number. With such pronounced changes in the *Ri* profiles between spring

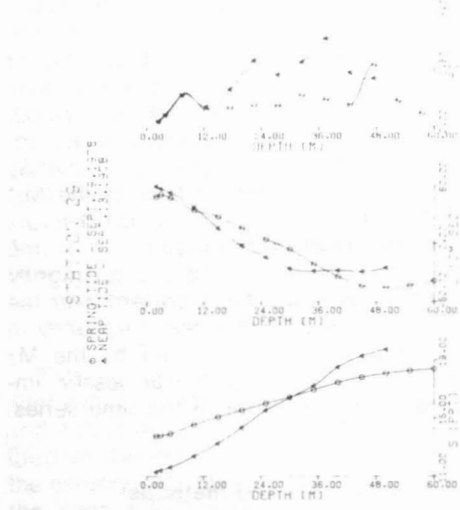


Figure 4. Tidally-averaged salinity, longitudinal velocity and Richardson number profiles at station 29.

and neap tides, it follows that in any investigation of vertical mixing in Chesterfield Inlet the influence of the spring-neap cycle must be taken into consideration.

STRATIFICATION AND THE ESTUARINE RICHARDSON NUMBER

Fischer (1972) has suggested that an estuarine Richardson number, *R*, which expresses the ratio of the buoyancy flux per unit width to the dissipation rate of tidally-driven bottom turbulence, is the correct formulation for predicting the extent of vertical stratification. He found that a strong relationship existed between  $\Delta S/\bar{S}$  and *R* values obtained from several estuaries and plume studies, where  $\Delta S$  is the tidally averaged salinity difference over the water column and  $\bar{S}$  is the tidally and cross-sectionally averaged salinity. To determine whether a similar relationship might exist for Chesterfield Inlet, profile data from the 13-hour stations located as shown in Figure 2 were used to compute the parameters  $\Delta S/\bar{S}$

$$R = \frac{\Delta \rho g Q}{\bar{\rho} b U^3} \quad (2)$$

and *R*, where  $\Delta \rho$  is the tidally-averaged density difference over the water column;  $\bar{\rho}$  is the cross-sectionally and tidally-averaged density; *Q* is the freshwater volume inflow rate; *b* is the channel width; and *U* is the root mean square tidal velocity.

In the computation of these parameters it was assumed that the observed values of

the variables at each of the profile stations are equal to the lateral averages at those locations. Estimates of cross-sectional averages were obtained by computing vertical averages weighted by channel width and vertical distance between observations in the profiles. Recently, 13-hour profile station data from cross-channel transects through stations 2, 6, 9 and 17 have become available (Budgell, in prep.). It was found that  $\Delta S/\bar{S}$  and R values based on the single stations differ from the values based on transect data by less than 5 percent and 25 percent, respectively. These differences are relatively unimportant if log transformations of  $\Delta S/\bar{S}$  and R are being considered.

The relative stratification values are plotted against the estuarine Richardson numbers in Figure 5. There is no apparent relationship between the two variables. This conclusion was confirmed by a statistical analysis in which it was found that  $\Delta S/\bar{S}$  and R were not significantly correlated at the 0.05 significance level. Furthermore, the log transformations of the two variables were not significantly correlated at the 0.05 level, either, nor were significant correlations obtained between the relative stratification or its logarithm and the variables Q, U or their logarithms.

It seems likely that this lack of correlation is due to a high degree of variability in the tidal dissipation and mixing characteristics of Chesterfield Inlet caused by the extreme

variability in the cross-sectional geometry of the inlet. Soundings taken in Chesterfield Inlet indicate that depths can change by 10 m in less than 50 m distance in any horizontal direction. The variability in channel topwidth and curvature is shown in Figure 2. These changes in the geometry of the estuary are likely to influence turbulence characteristics such as length and time scales for momentum dissipation and mixing. In particular, Budgell (1976, 1977) found that the rate of momentum dissipation quadrupled near sharp constrictions and extreme channel curvatures, likely because of flow separation in these regions. Similarly, in an investigation by Roff *et al.* (1980), it was found that the longitudinal dispersion coefficient computed from tidally-averaged data varied by a factor of 5 within Chesterfield Inlet, largely as a result of trapping of saline waters in channel embayments. In view of these results, it is not surprising that no significant correlation exists between the relative stratification and the estuarine Richardson number throughout the system.

#### TIME VARIABILITY

Since the space- and time-dependent stratification in Chesterfield Inlet could not be related to simple physical parameters, the time history of stratification at a single location was examined to determine if it might be more amenable to description. Salinity, density and velocity data from mooring 5A, situated as shown in Figure 2, were used to examine the low frequency (less than diurnal) variation in circulation and stratification at that location over the month of August 1978. Shown in Figure 6 are the time series plots of the variables  $\Delta S$ , U,  $U_d$ , Q and R, where  $\Delta S$  is the low pass filtered salinity at 60 m depth minus that of 10 m, U is the root mean square vertically averaged tidal velocity,  $U_d$  is the magnitude of the difference between the low pass velocity at 10 m and that at 60 m, Q is the freshwater inflow rate and R is an estuarine Richardson number based upon the above quantities.

The low pass filtered estimates were obtained by first applying an  $A_6 A_6 A_7$  moving average filter to the 10-minute observations, then subsampling at hourly intervals. These values were then further smoothed using an  $A_{24} A_{24} A_{25}$  filter. After these procedures were carried out, no periodicities with frequencies greater than one cycle per day remained in the data. Details on these filtering

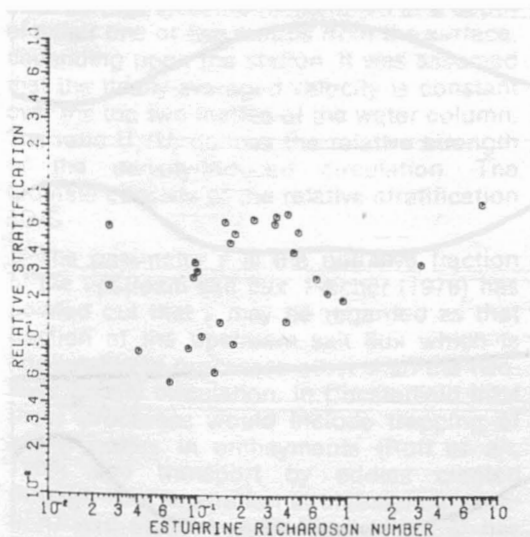


Figure 5. Relative stratification ( $\Delta S/\bar{S}$ ) versus the estuarine Richardson number (R) computed from profile data.

operations are contained in the text by Godin (1972).

The rms tidal velocity  $U$  is computed by first subtracting the low pass filtered velocities from the 10 m, 30 m and 60 m hourly filtered values to produce tidal velocities. The tidal velocities from the 3 current meters were then averaged, weighted by their spacing in the vertical. The square of the vertically averaged tidal velocity was low pass filtered with the A<sub>24</sub> A<sub>24</sub> A<sub>25</sub> operator. The square root was taken of the resulting time series to produce the rms values.

The parameter  $U_d$  is indicative of the strength of two-layer density-induced circulation. A measure of the dynamic stability of the water column is provided by  $R$ , a form of the estuarine Richardson number given in equation (2), except that in this case  $\Delta\rho$  is the low pass filtered density difference between the 60 m and 10 m current meters,  $\bar{\rho}$  is the low pass filtered vertically-averaged density and  $U$  is computed as described above.

From Figure 6 it can be seen that the time series of all the variables except  $Q$  possess a strong fortnightly periodicity correspond-

ing to the spring-neap cycle. A visual inspection suggests that  $\Delta S$ ,  $U_d$  and  $R$  are positively correlated with one another but are negatively correlated with  $U$ . There is no apparent correlation between  $Q$  and any of the other variables. It would appear that the maximum and minimum stratification occur approximately 1 1/2 days after the minima and maxima, respectively, of the rms tidal velocity. The maxima of  $U_d$  occur approximately 1/2 day before the minima of  $U$ , but there is no clearly defined minimum in  $U_d$ . The  $R$  values increase sharply with decreasing  $U$  values. This is to be expected from the negative cubic power dependence of  $R$  on  $U$ . The behaviour of these variables over time is consistent with what would be expected if the tidal currents are of primary importance in determining the vertical stratification, gravitational circulation and dynamic stability.

In contrast with the previously described analysis conducted on the spatially distributed profile data in which it was not possible to account for more than 16 percent of the variation in  $\Delta S/\bar{S}$  with any of the variables used, the simple linear relationship:

$$\Delta S_t = -15U_{t-39} + 15.5 \quad (3)$$

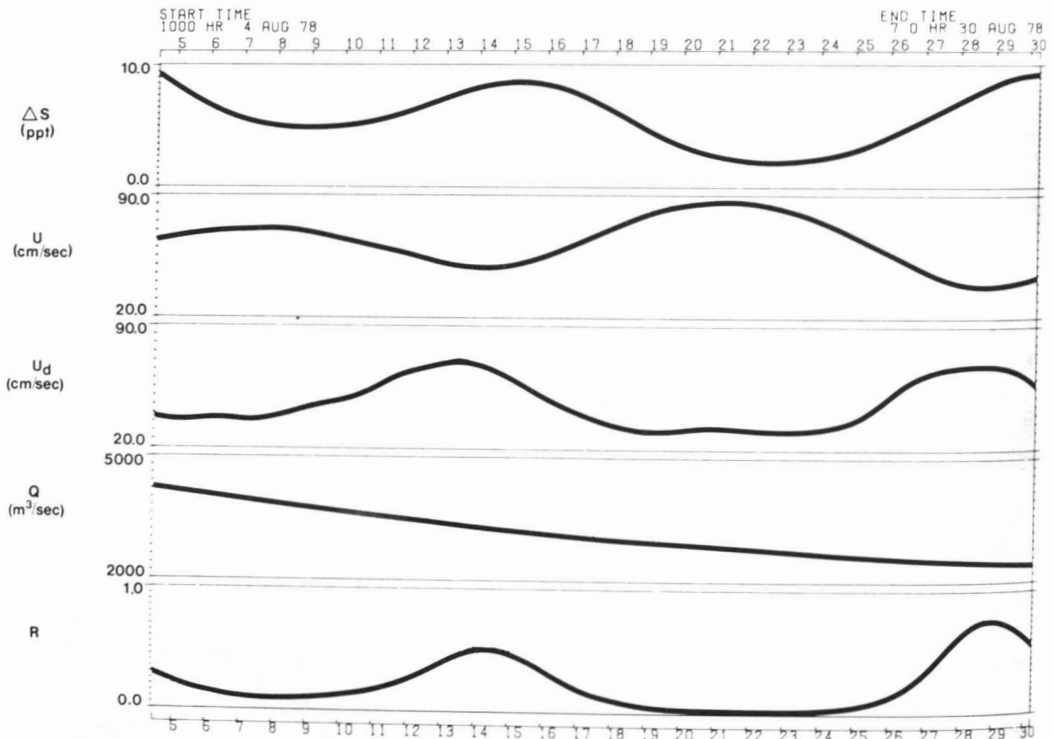


Figure 6. Low-pass filtered time-series plots of stratification ( $\Delta S$ ), rms tidal velocity ( $U$ ), density current amplitude ( $U_d$ ), fresh water inflow rate ( $Q$ ) and estuarine Richardson number ( $R$ ) at mooring 5A.

where  $t$  is the time in hours and the units of  $\Delta S_t$  and  $U_t$  are ppt and m/s, respectively, accounts for 94 percent of the variation in  $\Delta S_t$  at mooring 5A. This would suggest that although the spatial distribution of vertical stratification in Chesterfield Inlet is difficult to model, the time dependence of stratification at one location, at least, is well defined in terms of the rms tidal velocity.

The pronounced variations in  $\Delta S$ ,  $U_s$  and  $R$  between values of 2.1 and 9.3 ppt, 0.29 and 0.71 m/s and 0.02 and 0.78, respectively, from spring to neap tide are indicative of changes in the estuarine characteristics of a portion of Chesterfield Inlet. One means of testing this hypothesis is to carry out a classification of Chesterfield Inlet based upon the observed oceanographic data and determine whether any change in the classification occurs between spring and neap tide.

#### ESTUARINE CLASSIFICATION

In an attempt to summarize the 13-hour profile data from Chesterfield Inlet in at least a nonparametric manner, a classification analysis was carried out using the approach of Hansen & Rattray (1966). The classification is based upon the stratification-circulation diagram shown in Figure 7. The abscissa is the ratio of the tidally-averaged longitudinal component of the surface velocity,  $U_s$ , to the freshwater inflow component of velocity,  $U_f = Q/A$ , where  $A$  is the cross-sectional area. The velocity  $U_s$  was computed from current measurements taken at a depth of either one or two metres from the surface, depending upon the station. It was assumed that the tidally-averaged velocity is constant over the top two metres of the water column. The ratio  $U_s/U_f$  defines the relative strength of the density-induced circulation. The ordinate consists of the relative stratification  $\Delta S/\bar{S}$ .

The parameter  $\nu$  is the diffusive fraction of the upstream salt flux. Fischer (1976) has pointed out that  $\nu$  may be regarded as that fraction of the upstream salt flux which is attributable to processes other than the two-layer gravity circulation. In Chesterfield Inlet these processes would include trapping of saline waters in embayments (Roff *et al.*, 1980) and transport by eddies created through flow separation at channel constrictions and sharp bends. Fischer (1976) has described the role of these processes, termed trapping and tidal pumping, respectively, in enhancing longitudinal dispersion

and thus increasing the upstream salt flux. When  $\nu = 1$ , gravity convection ceases and no salt is transported upstream by two-layer flow. As  $\nu$  approaches zero, the upstream salt flux is almost entirely by gravitational convection in a two-layer flow.

Hansen & Rattray (1966) have divided the stratification-circulation diagram into regions corresponding to broad classes of estuaries. In Type I estuaries, the flow is seaward at all depths and the upstream salt transfer is by diffusion. For Type II estuaries, the flow reverses at depth and both advection and turbulent diffusion contribute significantly to the transfer of the salt in the upstream direction. Type III (fjord entrainment) estuaries are characterized by the gravitational circulation accounting for over 99 percent of the upstream salt flux. In Type IV (arrested salt wedge) estuaries, the stratification is greater than in Type III estuaries, and there is little interaction between the two flow layers.

In Figure 7, the stratification parameter was plotted against the circulation parameter for each of the profile stations shown in Figure 2. The stations occupied at spring tides, neap tides and between spring and neap tides are denoted by solid circles, solid squares and open squares, respectively. Some of the stations have been repeated at different stages of the spring-neap cycle. These data points are connected by dashed lines. For the purposes of this analysis, spring and neap tides are considered to persist for periods of three days each, and the estuary is assumed to be laterally homogeneous.

The scatter of points on the diagram is considerable. This is consistent with the lack of correlation between  $\Delta S/\bar{S}$  and  $R$ , shown in Figure 6, and Fischer's (1972) result that  $\Delta S/\bar{S}$  is Hansen and Rattray's classification analysis depends primarily upon  $R$ . Despite the scatter in the data, it can be seen that the points lie in either the Type II or Type III regions. Furthermore, with only three exceptions, the neap tide data fall within the Type III category and the spring tide data all lie within the Type II region. The data collected between spring and neap tides (mid-cycle) fall into both categories.

Using a Fischer exact probability test (Siegel, 1956), it is possible to test the likelihood of such a distribution of spring and neap data into Type II and Type III categories, respectively. The occurrence of at least as

### ESTUARY CLASSIFICATION

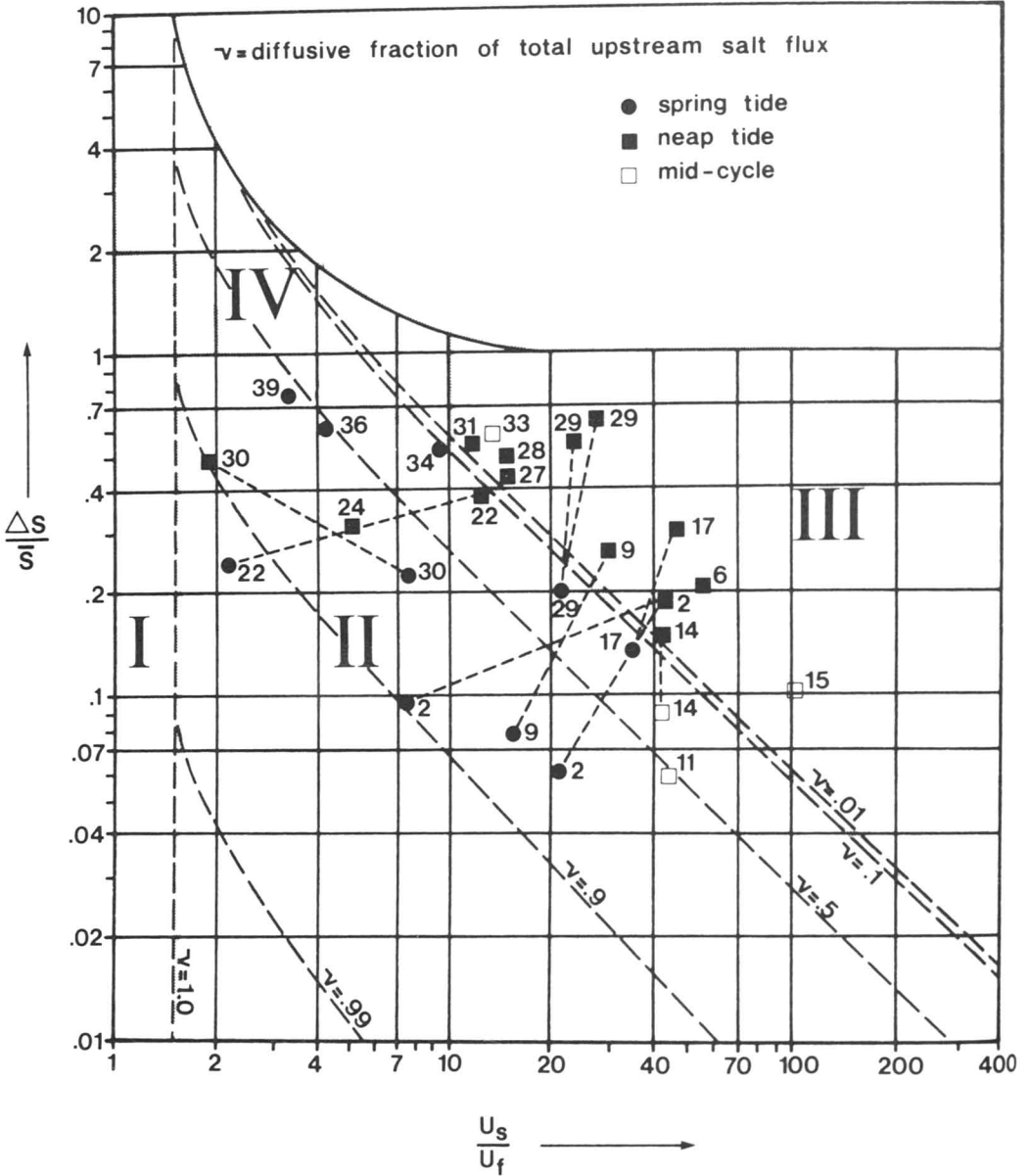


Figure 7. Stratification-circulation diagram showing the Chesterfield Inlet profile data.

extreme an event as depicted in the  $2 \times 2$  contingency table of Table 1 by random chance was found to be highly improbable ( $P < 0.01$ ). Thus, the null hypothesis, that spring and neap tide stations are equally distributed into Type II and Type III classifications, is rejected and the alternate hypothesis, that spring tide stations are classified as Type II and neap tide stations are classified as Type III, is accepted.

This association of the stage of the spring-neap cycle with the estuarine classification takes place over all the inlet up to station 39 over a period of 2 months despite the freshwater inflow rate changing by a factor of 2 during that time. The consistency of this behaviour in Chesterfield Inlet is attributable to the strong tidal currents and pronounced modulation of these currents into a spring-neap cycle. It is known (Budgell, in prep.)

TABLE I

Distribution of profile stations by estuarine classification and tidal stage

	Type II	Type III	Total
Spring	10	0	10
Neap	3	10	13
Total	13	10	23

that the spring tide current amplitudes are at least double those at neap tide throughout the estuary up to at least station 34. Modulation of the currents up-estuary of that location is likely given the strong spring-neap signal present in the surface tide up to the entrance to Baker Lake (Budgell, in prep.). Since salt intrudes the full length of the estuary (Budgell, in prep.), conditions are right for spring-neap changes in stratification and circulation over the whole system.

From stations occupied at different stages of the spring-neap cycle (stations 2, 9, 14, 17, 22 and 29) it can be seen that the  $\nu$  value increases with increasing tidal energy (proximity to spring tide). The exception to this tendency is station 30, which will be discussed later. Stations repeated at the same stage of spring-neap cycle (stations 2 and 29) possess  $\nu$  values which remain relatively constant. Spring-tide values of  $\nu$  at station 2 are approximately 0.8 and 0.9, neap-tide values of  $\nu$  at station 29 are both less than 0.01. These results indicate that, consistent with what is shown in Figure 6 and equation (3), the increased tidal mixing which takes place at spring tide reduces the density stratification and the resulting two-layer circulation. Thus, processes other than the density-driven circulation assume greater importance in transporting the saline Hudson Bay waters upstream at spring tide than at neap tide.

The deviation of the three stations from the general tendency of spring tide stations to be classified as Type II, and neap tide stations to be classified as Type III, is probably attributable to local topographic effects. In particular, the neap occurrence of station 22 lies within the Type II classification. Station 22 is situated between a major constriction and an island. It is likely that the sudden changes in channel geometry together with the high (150 cm/s) tidal velocities cause flow separation near the boundaries. This phenomenon has been

observed in the Seto Inland Sea of Japan (Hayakawa, pers. comm.) and in the Great Bay estuary of New Hampshire (Reichard & Celikkol, 1978). The eddies produced under these conditions would then be largely responsible for the upstream transfer of salt rather than the density current. It should be noted, however, that the diffusive fraction,  $\nu$ , still decreases appreciably from spring to neap tide at that location.

Station 24 is situated at the entrance to Barbour Bay. The horizontal mixing of Barbour Bay and Chesterfield Inlet waters at that location appears to overshadow the influence of the gravitational two-layer circulation.

The location of the neap tide station 30 on the classification diagram is more difficult to explain. In this instance, the neap tide station has a higher  $\nu$  value associated with it than does the spring tide station. It may be that the embayment situated just up-estuary of station 30 causes mixing and circulation to be influenced by the trapping and pumping mechanisms outlined by Fischer (1976). These three-dimensional effects are not taken into consideration in the Hansen-Rattray theory.

### Conclusion

The vertical stratification and water column stability in Chesterfield Inlet are diminished considerably from neap to spring tide. Strong negative correlation exists between the stratification and the strength of the tidal current at a single location near the mouth of the estuary. However, when spatially-distributed profile data are analyzed, it is found that no apparent correlation exists between the stratification and various mixing parameters. This lack of correlation is probably attributable to a high degree of spatial variability resulting from the irregular geometry of Chesterfield Inlet.

Despite the spatial variability in mixing characteristics, it is found that Chesterfield Inlet may be classified as a Type II estuary at spring tides and as a Type III estuary at neap tides. This change in estuarine classification occurs over the whole length of Chesterfield Inlet and over a range of freshwater inflow rates which varied by a factor of 2 during the course of the field survey. Thus, at spring tide, Chesterfield Inlet may be described as an estuary in which the tidally-averaged flow reverses at depth and in which



both the two-layer gravitational circulation and horizontal mixing are important in the transport of salt from Hudson Bay upstream towards Baker Lake. At neap tide, Chesterfield Inlet may be categorized as having a strong, two-layer gravitational circulation which is responsible for transporting saline waters upstream. Horizontal mixing is relatively unimportant in conveying salt upstream during neap tide.

### Acknowledgments

I would like to thank Ms. B. Flemming for assisting with the computer programming and data processing required for this study.

### References

- BALCH, W.M., 1981. An apparent lunar tidal cycle of phytoplankton blooming and community succession in the Gulf of Maine. — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 55: 65-77.
- BLUMBERG, A.F., 1977. Numerical model of estuarine circulation. — *J. Hydraul. Div. Am. Soc. civ. Engrs.*, 103 (HY3): 295-310.
- BOWDEN, K.F. & S.H. EL DIN, 1966. Circulation, salinity and river discharge in the Mersey estuary. — *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 10: 383-399.
- BOWDEN, K.F. & R.M. GILLIGAN, 1971. Characteristic features of estuarine circulation as represented in the Mersey estuary. — *Limnol. Oceanogr.*, 16: 490-502.
- BROOKS, D.J., 1979. Chesterfield Inlet oceanographic survey 1978 field report. — *Ocean and Aquatic Sciences, Central Region, Dept. of Fisheries and Ocean, Burlington, Field Rep. Ser. no. 79-1, 119 p.*
- BUDGELELL, W.P., 1976. Tidal propagation in Chesterfield Inlet. — *Ocean and Aquatic Sciences, Central Region, Environment Canada, Burlington, Ms. Rep. Ser. no. 3, 99 p.*
- BUDGELELL, W.P., 1977. Numerical simulation of the tides in Chesterfield Inlet. — Pages 455-462 in *Proc. 17th Congr. I.A.H.R.*, Vol. 209, Baden-Baden, 529 p.
- DYER, K.R., 1980. The mixing processes in a partially-mixed estuary: Southampton Water. — Pages 934-943 in T. Carstens & T. McClimans (eds.), *Stratified flows. Second international symposium on stratified flows.* Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, 1095 p.
- FISCHER, H.B., 1972. Mass transport mechanisms in partially stratified estuaries. — *J. Fluid Mech.*, 53(4): 671-687.
- FISCHER, H.B., 1976. Mixing and dispersion in estuaries. — *A. Rev. Fluid Mech.*, 8: 107-133.
- GODFREY, J.S., 1980. A numerical model of the James River estuary, Virginia, U.S.A. — *Estuar. Coast. mar. Sci.*, 11: 295-310.
- GODIN, G. 1972. *The analysis of tides.* — University of Toronto Press, Toronto, Ontario, 264 p.
- HAAS, L.W., 1977. The effect of the spring-neap tidal cycle on the vertical salinity structure of the James, York and Rappahannock rivers, Virginia, U.S.A. — *Estuar. coast. mar. Sci.*, 5: 485-496.
- HANSEN, D.V. & M. RATTRAY, 1966. New dimensions in estuary classification. — *Limnol. Oceanogr.*, 11: 319-326.
- OFFICER, C.B., 1976. *Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters).* — Wiley-Interscience, New York, 465 p.
- PINGREE, R.D., P.M. HOLLIGAN, G.T. MARDELL & R.N. HEAD, 1976. The influence of physical stability on spring, summer and autumn phytoplankton blooms in the Celtic Sea. — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 56: 845-873.
- REICHARD, R.P. & B. CELIKKOL, 1978. Application of a finite element hydrodynamic model to the Great Bay estuary systems, New Hampshire, U.S.A. — Pages 349-372 in J.C.J. Nihoul (ed.), *Hydrodynamics of estuaries and fjords.* Elsevier, Amsterdam, 546 p.
- ROFF, J.C., R.J. PETT, G.F. ROGERS & W.P. BUDGELELL, 1980. A study of plankton ecology in Chesterfield Inlet, N.W.T., an arctic estuary. — Pages 185-197 in V.S. Kennedy (ed.), *Estuarine perspectives.* Academic Press, New York, 533 p.
- SIEGEL, S., 1956. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences.* — McGraw Hill, New York, 312 p.
- TURNER, J.S., 1973. *Buoyancy effects in fluids.* — Cambridge University Press, Cambridge, 367 p.
- WEBB, K.L. & C.F. D'ÉLIA, 1980. Nutrient and oxygen redistribution during a spring neap tidal cycle in a temperate estuary. — *Science*, 207: 983-985.
- WRIGHT, G.M., 1967. *Geology of the southeastern Barren Grounds, parts of the districts of Mackenzie and Keewatin (Operations Keewatin, Baker, Thelon).* — *Geol. Surv. Canada, Dept. of Energy Mines and Resources, Ottawa, Memoir no. 350, 91 p.*

## **ANALYSE DES FLUCTUATIONS DU NIVEAU D'EAU DANS LE DÉTROIT DE MANITOUNUK À L'EST DE LA BAIE D'HUDSON**

Y. OUELLET, J. LLAMAS

*Département de génie civil, Université Laval  
Sainte-Foy, Québec G1K 7P4*

et

J.C. RASSAM

*Hydro-Québec, Division de la régulation des ressources  
Direction production, 855 rue Sainte-Catherine est  
Montréal, Québec H2L 4P5*

### **Résumé**

Les fluctuations du niveau d'eau dans une étendue d'eau relativement grande relèvent de plusieurs sources dont les vagues, les tsunamis, les seiches, les marées astronomiques et météorologiques. Parmi celles-ci, les vagues de tempête, considérées comme des ondes longues, paraissent dominantes, comme c'est le cas dans la baie d'Hudson. La connaissance précise des fluctuations du niveau d'eau dans une étendue d'eau importante est une donnée fréquemment requise pour l'élaboration de projets hydrauliques. En raison de la variabilité des paramètres affectant les phénomènes en cause, une étude statistique est l'outil indispensable pour bien comprendre le comportement du système physique. Sur la base d'une application particulière, relative au détroit de Manitounuk, situé sur le côté est de la baie d'Hudson, on analyse les données de niveau d'eau pour en faire ressortir les principales caractéristiques en fonction des objectifs de l'étude, plus précisément axée sur la définition du niveau moyen et de ses fluctuations autour de cette valeur sous l'influence des vagues de tempête dans la baie d'Hudson. Cette étude comprend principalement le traitement des données, y compris leur lissage, la génération des données manquantes par régression, la reconstitution de données sur une période suffisamment longue pour rendre possible l'étude statistique des paramètres recherchés.

### **Abstract**

The water level fluctuations in a relatively large body of water is due to many causes such as surface waves, tsunamis, seiches, tides, and meteorological tides. Among those, storm surges, which are classified as long period waves, are relatively important in these large bodies of water. A precise knowledge of the water level position and variations is often required in the development of hydraulic projects. Due to the random nature of the variables involved, a statistical study appears to be a method which gives satisfactory results to obtain a good definition for the unknown parameters. On the basis of a practical application, that is the water level fluctuations in the Manitounuk Sound located on the east side of Hudson Bay, some of these methods are put forward to find the long term mean water level as well as his extreme variations. Those methods involved among others, the treatment of raw data available, including smoothing, the search of missing data to complete the chronological series, the generation of data for a longer period of time in order to make possible a statistical study of the unknown parameters.

### Introduction

Une connaissance assez précise de la variation à long terme du niveau d'une grande étendue d'eau est une donnée nécessaire à l'élaboration de nombreux projets. Ceci est vrai en particulier lorsqu'on projette l'implantation d'une centrale hydro-électrique dans la partie aval d'un cours d'eau et dont la sortie subit l'influence de la mer. La connaissance du niveau moyen à long terme nous permet alors d'estimer la puissance moyenne qu'on peut attendre de cette centrale et la puissance disponible dans les cas extrêmes s'établissant en fonction des variations extrêmes du niveau d'eau. Il devient alors possible de procéder à un calage adéquat de la galerie de fuite de la centrale.

En plus de la marée, les fluctuations du niveau d'eau ont pour cause principale les variations des conditions hydro-météorologiques qui se manifestent par des variations de la pression atmosphérique et du vent en intensité et direction. Ce sont les vagues de tempête dont les fluctuations ont une durée de l'ordre de la semaine, qui se produisent assez régulièrement, mais avec des intensités, durées et fréquences très variables. D'autres phénomènes tels les vagues superficielles, les raz-de-marée, les seiches, entraînent des fluctuations du niveau d'eau mais ne revêtent pas autant d'intérêt pour la présente étude.

Ces phénomènes ont fait l'objet d'une étude dans le cadre de l'aménagement hydro-électrique proposé du complexe Grande Baleine situé au nord du complexe La Grande. Les eaux de la Grande rivière de la Baleine se jettent dans le détroit de Manitounuk situé à l'est de la baie d'Hudson, milieu propice à la présence de vagues de tempête.

Une étude statistique de la variabilité du niveau d'eau dans une étendue d'eau de cette importance repose sur la disponibilité d'enregistrements sur une période suffisamment longue. Dans un tel cas, les données manquantes doivent être reconstituées à partir d'autres paramètres suffisamment corrélés avec le paramètre recherché, à l'aide de méthodes courantes de génération basées sur la régression simple ou multiple. L'échantillon reconstitué est soumis à une analyse statistique, qui dans le cas présent, a porté principalement sur l'étude des valeurs extrêmes à l'aide d'un modèle har-

monique et de la valeur moyenne à long terme à l'aide d'un modèle régressif.

### Les vagues de tempête

Les fluctuations du niveau de la mer résultent de la superposition de diverses composantes généralement classifiées selon leur période et leur fréquence (Kinsman, 1965; Bath, 1974), et allant des vagues superficielles, dont la période est de l'ordre de la seconde, jusqu'aux marées météorologiques (Chow, 1964), dont la période s'étend de quelques jours à plusieurs années. Parmi ces dernières, on retrouve les tsunamis (raz-de-marée) avec des périodes de l'ordre d'une heure et les seiches, qui sont des oscillations de plan d'eau d'une étendue limitée reliées à un phénomène de résonance (Ippen, 1966). À ce sujet, Wilding *et al.* (1980) ont fait ressortir des oscillations de courtes périodes ( $2\frac{1}{2}$  heures) dans des baies confinées situées dans le nord-ouest de la mer Egée, tandis que Platzman & Rao (1964) ont isolé des oscillations de 4, 9 et 14 heures à partir d'enregistrements de niveaux d'eau sur le lac Érié. Godin & Trottier (1975) en ont fait de même dans une étude des variations d'eau du port de Trieste, situé au nord de la mer Adriatique.

Par ailleurs, les marées, qui résultent de l'attraction lunaire et solaire, ont fait l'objet d'un grand nombre d'études (Godin, 1972). Les diverses composantes (semi-diurne, diurne, saisonnière) ont des périodes variant entre 12 heures et 1 an et pouvant même aller jusqu'à plus de 18 ans (18, 61 ans), dite période de Saros, soit le temps que prend la lune pour revenir au même point lorsqu'un nouveau mois commence. L'analyse harmonique (Zetler *et al.*, 1965; Rossiter & Lennon, 1968) et l'analyse spectrale (Hannan, 1966; Godin, 1972) constituent les principales techniques d'étude des marées astronomiques. Généralement, une année d'observation suffit pour décrire la majeure partie du phénomène. On peut aussi faire appel à un modèle auto-régressif (Godin, 1974), mais l'exploitation pratique de ce type de modèle nécessite une acquisition de données en temps réel.

Les fluctuations du niveau d'eau de longue période, c'est-à-dire d'origine météorologique, sont causées par les variations barométriques (Roden, 1960), les vents forts et persistants (Groves & Miyata, 1967; Groves, 1968), les variations thermométriques (Nyrtki, 1979) ou une combinaison des variables

précédentes (Roden, 1966; Hamon, 1966). Les périodes de ces marées dites météorologiques couvrent un éventail assez large allant de quelques jours à plusieurs années. Dans cette gamme, on retrouve les vagues de tempête d'un intérêt plus particulier pour la présente étude.

Godin & Trottier (1975) caractérisent les vagues de tempête par une variation anormale du niveau d'eau dans les mers littorales et les lacs, causée par le passage d'un cyclone au-dessus du bassin, ce qui occasionne des vents violents et une forte baisse de la pression atmosphérique. Ces vagues de tempête se produisent assez régulièrement mais avec des intensités, durées et fréquences très irrégulières. On rencontre ces phénomènes surtout dans les mers peu profondes aux rives basses et à faible gradient et exposées aux trajectoires plus ou moins régulières des tempêtes.

Or, ces caractéristiques se retrouvent dans la baie d'Hudson (Yuen & Murty, 1972; Archibald, 1969) à l'est de laquelle on envisage d'aménager le complexe hydro-électrique de la Grande Baleine (fig. 1), dont les eaux se jetteront dans le détroit de Manitounuk. Une connaissance précise du niveau d'eau moyen et de ses variations extrêmes revêt un intérêt particulier, spécialement pour le calage de la galerie de fuite de la centrale située dans la partie aval, de façon à pouvoir estimer la puissance moyenne et la puissance disponible dans les cas extrêmes.

Malgré son étendue, la baie d'Hudson est relativement peu connue quant aux fluctuations de son niveau d'eau reliées aux phénomènes de la marée et des vagues de tempête. Freeman & Murty (1976) ont proposé pour l'étude des marées co-oscillantes et indépendantes de la baie d'Hudson, un modèle bidimensionnel dans lequel ils constatent l'importance de la bathymétrie sur la propagation de la marée, surtout dans la région des îles Belcher. Godin (1975) a établi une bonne corrélation entre les surélévations dues aux vagues de tempête dans la baie James d'une part, et la pression atmosphérique et le vent géostrophique d'autre part. Triboulet (1976) a identifié à l'aide des niveaux moyens journaliers à Poste-de-la-Baleine et à Inoucdjouac, des surélévations exceptionnelles engendrées par le passage des systèmes de basse pression. Enfin, Gagnon (1977) a corrélié les niveaux moyens journaliers du détroit de Manitounuk avec la pression moyenne journalière de la veille

à Poste-de-la-Baleine et a trouvé que 65% de la variance est expliquée par cette régression.

### Les données disponibles

Les données disponibles sur le niveau d'eau dans la région du détroit de Manitounuk sont très récentes. Elles ont été recueillies durant trois années (de 1976 à 1978) en trois stations, DMAN0048, DMAN0049 et DMAN0050 (fig. 1). Les séries chronologiques des données du niveau d'eau comportent de nombreuses discontinuités et ne pourraient donc pas comme telles faire l'objet d'une étude statistique.

De façon à obtenir un complément d'information pertinente sur le sujet, on a fait appel à des données d'ordre hydrométrique, marégraphique et météorologique qui sont disponibles sur une plus longue période. Des données sur les niveaux d'eau observés et sur les marées prédites en diverses stations situées sur le littoral de la baie d'Hudson ont été fournies par le Service des données sur le milieu marin du ministère des Pêches et Océans sur une période allant de 1972 à 1978. Des données horaires sur la pression atmosphérique et sur l'intensité et la direction du vent depuis 1957, à Poste-de-la-Baleine et Inoucdjouac ont été fournies par le Service météorologique du ministère des Richesses Naturelles du Québec (1971) et par le Centre climatologique canadien du ministère des Pêches et Océans. Fournies sur bandes magnétiques, ces données ont été traitées de façon à être utilisables dans le cadre du présent programme.

### Méthodes d'analyse des enregistrements

#### TRAITEMENT DES DONNÉES

Avant de procéder à l'analyse proprement dite des enregistrements, on a dû effectuer des opérations de pré-traitement sur les données brutes de niveaux d'eau. Il a fallu d'abord régulariser l'échelle du temps de mesure des données, c'est-à-dire interpoler les données de façon à obtenir un intervalle constant de temps de 15 minutes entre les données. Comme l'objectif principal concerne l'étude des vagues de tempête, exemptes de la composante de la marée, seules les périodes supérieures à 750 minutes (12 h 30 min) ont été considérées comme des périodes de données manquantes.

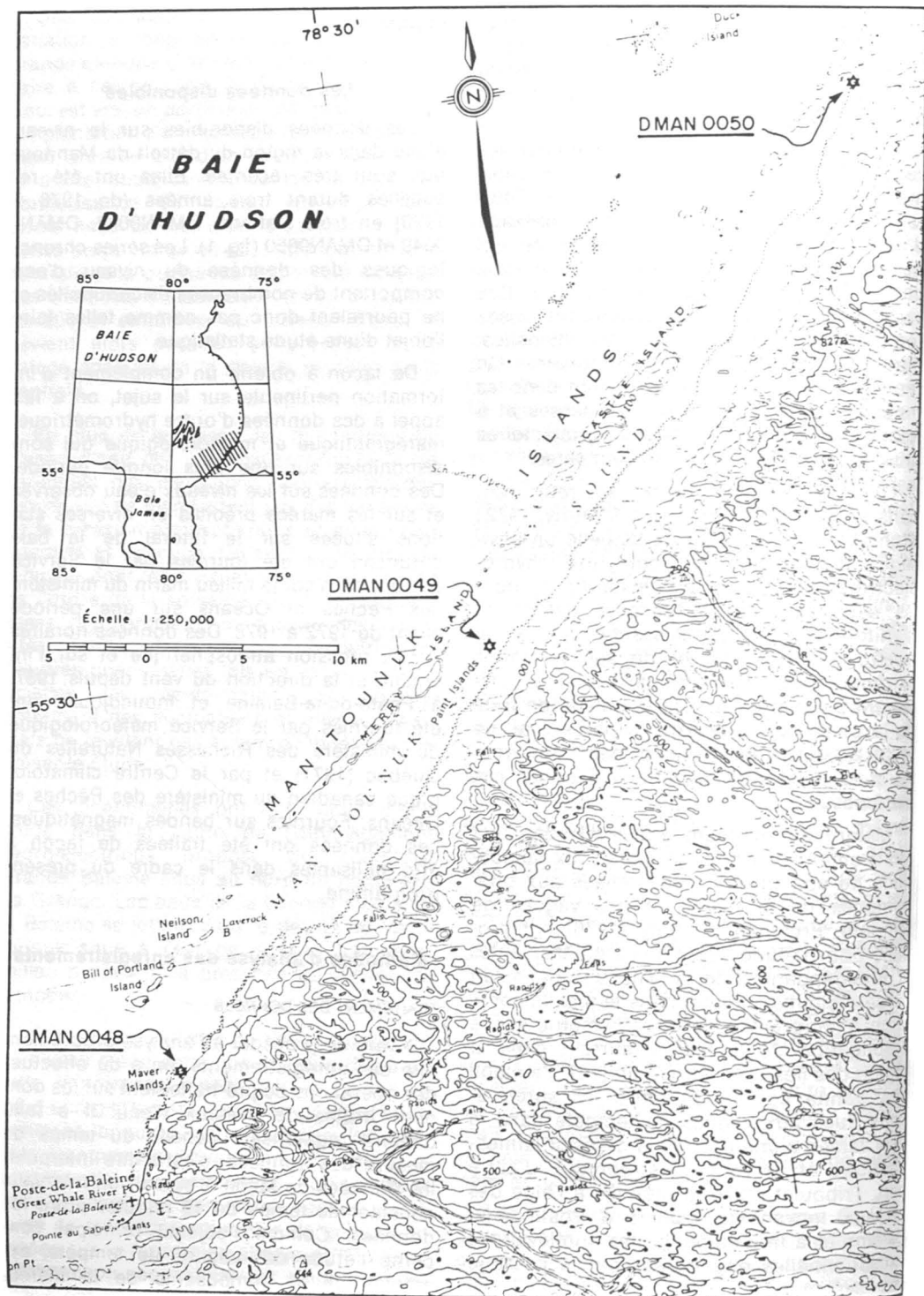


Figure 1. Localisation des stations DMAN0048, DMAN0049 et DMAN0050.

Puis les données manquantes ont été complétées à l'aide de techniques de régression simple et multiple (Llamas, 1972; Ouellet & Llamas, 1979) faisant intervenir les variables les mieux corrélées. La série chronologique des données du niveau d'eau à la station DMAN0049 a d'abord été complétée par régression simple à partir de celles des deux autres stations DMAN0048 et DMAN0050. Pour compléter les données brutes, il a fallu tenir compte de l'amplification de la marée entre les stations, plus spécialement pour la station DMAN0048 qui est située près de Poste-de-la-Baleine, là où il existe des prédictions pour la marée. La valeur moyenne de 1,08 retenue pour l'amplification ne s'éloigne pas beaucoup de celle obtenue par Triboulet (1977) ni de celle observée sur modèle réduit (Alam, 1977). Quant au déphasage de l'onde de marée entre les stations prises deux à deux, il n'a pas été possible, à cause de sa grande variabilité, de faire ressortir une valeur représentative. Toutefois comme l'intérêt porte surtout sur les composantes de basses fréquences (vagues de tempête) qui sont plus stables, l'effet du déphasage présente moins d'intérêt.

La grande majorité des données manquantes en DMAN0049 ont été ainsi complétées par régression simple à partir des deux autres stations, entre lesquelles les coefficients de corrélation étaient supérieurs à 0,98. Il ne subsistait que deux périodes, l'une de 7 jours et l'autre de 2 jours, où il n'y avait aucune donnée disponible. Compte tenu de la bonne corrélation entre les vagues de tempête et les variables météorologiques (Hamon, 1962; Groves, 1968), on a fait appel à un modèle régressif pour compléter ces données manquantes.

Les variables météorologiques qui expliquent une bonne partie des variations du niveau d'eau causées par les vagues de tempête sont la pression atmosphérique et le vent. Le travail important requis pour obtenir le vent géostrophique à partir des cartes synoptiques et la non-représentativité des vents enregistrés aux stations météorologiques côtières causés par les effets locaux nous a forcé à mettre de côté ce paramètre. La bonne corrélation entre le niveau de l'eau et la pression atmosphérique à Poste-de-la-Baleine nous a conduits à utiliser le modèle suivant :

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_{t-r} + E_t \quad [1]$$

dans lequel  $Y_t$  est le niveau d'eau,  $P_{t-r}$  la pression décalée du pas  $r$  et  $E_t$  le résidu évalué à l'aide d'un modèle de Markov d'ordre 4 :

$$E_t = \beta_0 + \sum_{k=1}^4 \beta_k E_{t-k} + \epsilon \quad [2]$$

$\epsilon$  étant le résidu généré à partir d'une loi de distribution à laquelle il appartient.

La figure 2 montre la variation du niveau moyen journalier ainsi complété en DMAN 0049. Sur cette figure, le niveau moyen journalier est enveloppé de valeurs brutes instantanées maximales et minimales de la même journée par superposition de la marée prédite à Poste-de-la-Baleine, compte tenu du facteur d'amplification. Cet échantillon complété a pour moyenne une valeur de -562 mm; les écarts extrêmes sont présentés au tableau I.

La figure 3 montre les courbes de fréquence des niveaux horaires bruts et filtrés enveloppés par les courbes de fréquence des minimums et maximums journaliers instantanés correspondants. Ces courbes ne peuvent être considérées comme des courbes de distribution de probabilité puisque les données ne constituent pas une suite de valeurs indépendantes. Selon le test d'Anderson, pour une limite de confiance de 95%, l'indépendance entre deux valeurs consécutives n'est atteinte qu'au dix-huitième jour suivant.

MODELES DE SIMULATION

Les fluctuations lentes du niveau d'eau sont mises en évidence si on élimine les composantes de moyennes fréquences, c'est-à-dire les oscillations diurnes et semi-diurnes de la marée, qui masquent d'une certaine façon les variations plus lentes du niveau moyen de l'eau. Pour y arriver, deux méthodes sont généralement utilisées: la première consiste à soustraire les niveaux observés des niveaux prédits par analyse harmonique (Isozaki, 1968), tandis que la deuxième utilise un filtre passe-bas (Phlips & Blome, 1973). La première méthode nécessite une connaissance préalable des composantes de la marée et peut introduire des oscillations fictives dues à l'imperfection de l'analyse. D'autre part, la seconde méthode, qui a l'avantage d'être indépendante du point géographique analysé (Groves, 1955), peut éliminer des oscillations diurnes causées en partie par les vagues

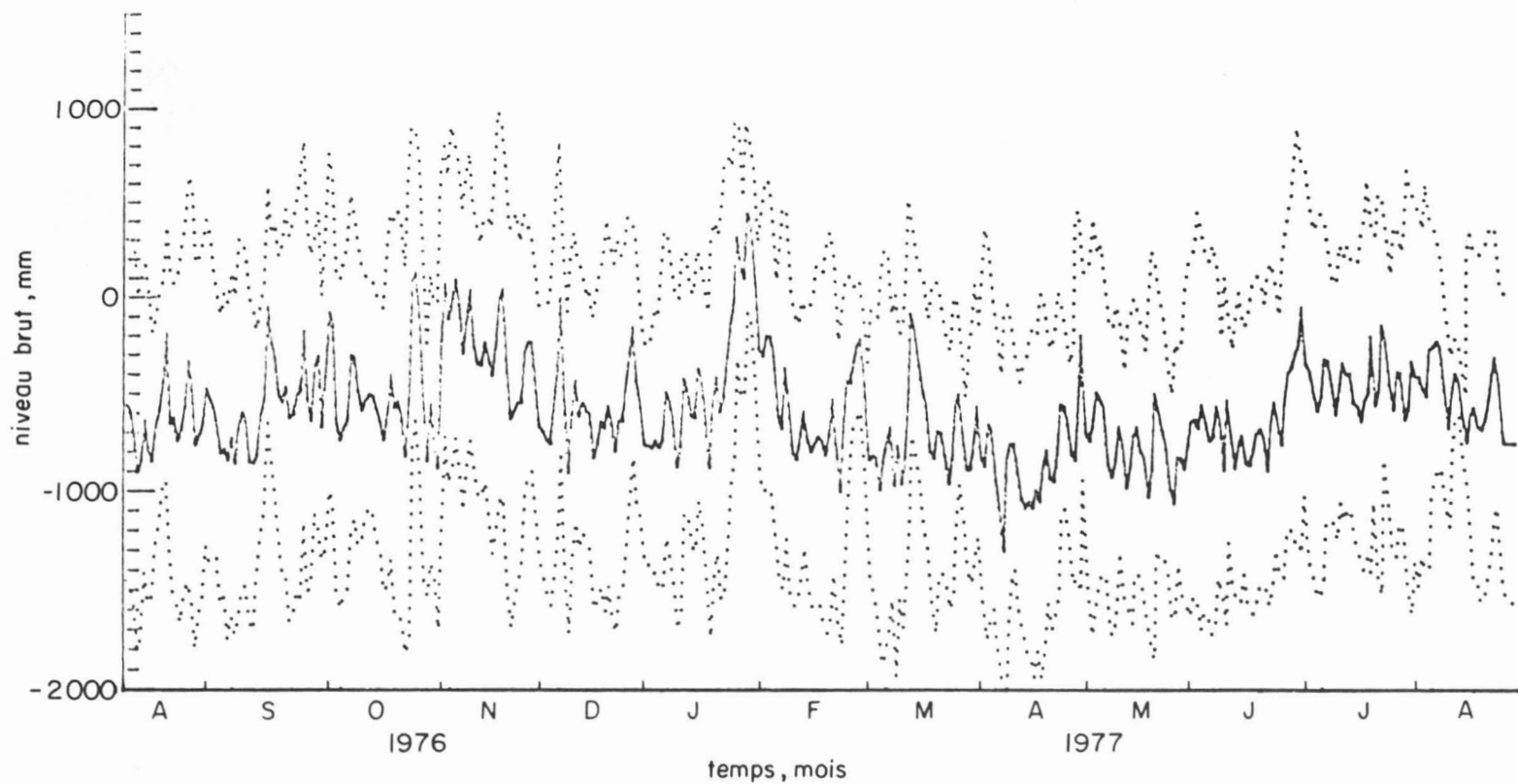


Figure 2. Niveau moyen journalier à la station DMAN0049, enveloppe des minimums et maximums du niveau brut (1976-08-13 — 1977-08-26).

TABLEAU I  
Valeurs extrêmes des niveaux d'eau (en mm)  
obtenues à partir du signal complété

	Niveau filtré		Niveau brut	
	Moyenne journalière	Instantané	Moyenne journalière	Instantané
Maximum	431	495	938	1002
Minimum	-1265	-1392	-2060	-2187

de tempête (Godin, 1975 ; Godin & Trottier, 1975).

Deux modèles de simulation, l'un basé sur l'analyse harmonique et l'autre du type régressif, ont été retenus pour l'étude statistique des fluctuations du niveau d'eau dans le détroit de Manitounuk. Le premier modèle utilise sept harmoniques décelées dans l'échantillon filtré auxquelles on superpose un signal aléatoire ayant la même distribution que le résidu observé à partir de la série connue. On ajoute ensuite la marée prédite corrigée pour compléter le modèle. On a ainsi simulé une série chronologique sur une période de 22 années. Ce modèle se prête bien à une étude des valeurs extrêmes des variations du niveau d'eau.

Les variables explicatives des variations du niveau d'eau dues aux vagues de tempête

te sont principalement la pression atmosphérique, le vent en intensité et en direction et les niveaux d'eau observés à d'autres stations. La plus grande disponibilité de certaines de ces données permet de reconstituer la série chronologique des variations du niveau d'eau sur une plus longue période.

L'étude des corrélogrammes de ces variables avec le niveau filtré en DMAN0049, c'est-à-dire soustrait des oscillations de la marée, a permis de construire un modèle de régression multiple utilisant la pression atmosphérique à Poste-de-la-Baleine et le niveau d'eau à Churchill (Manitoba). En effet, la pression atmosphérique à Poste-de-la-Baleine permet d'expliquer environ 60% de la variance du niveau moyen journalier à DMAN0049, compte tenu d'un coefficient

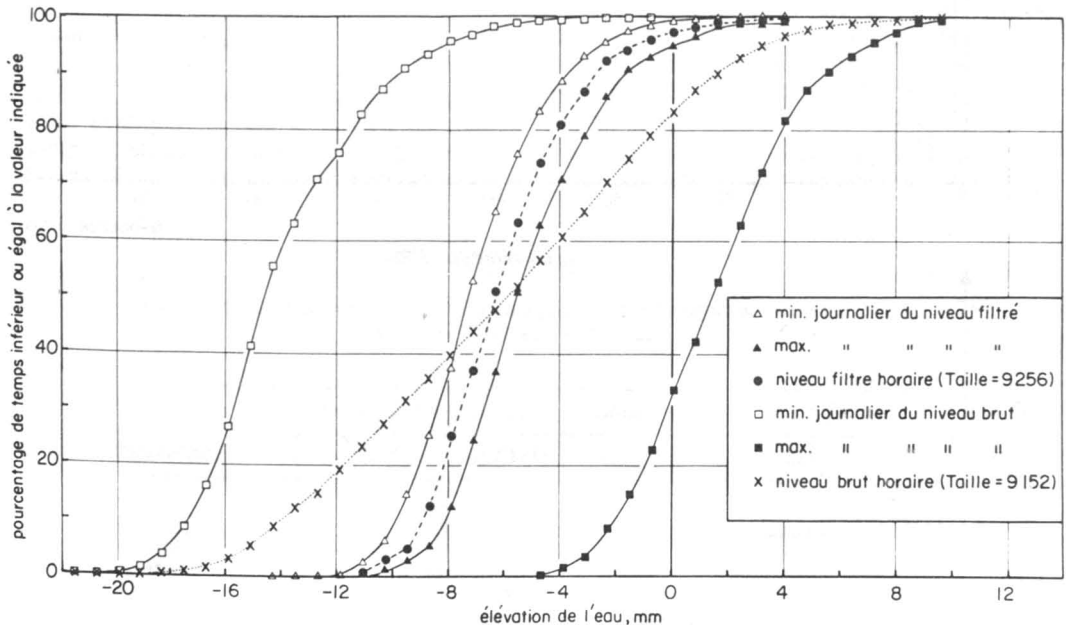


Figure 3. Courbes de fréquence des niveaux d'eau observés et complétés.



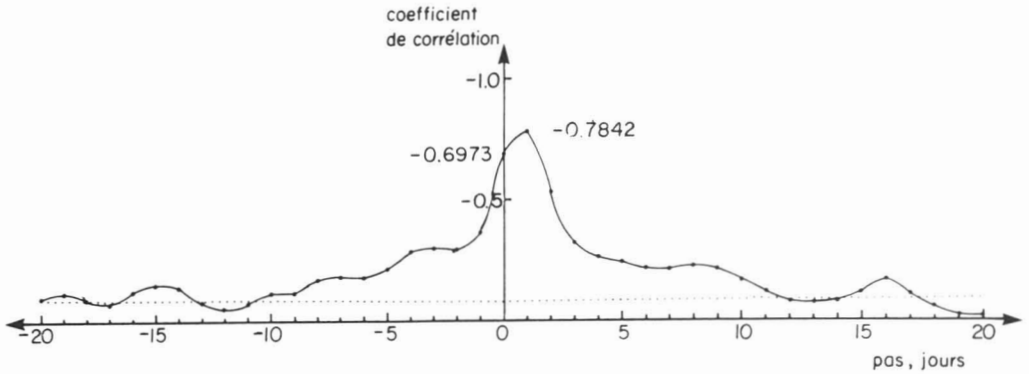


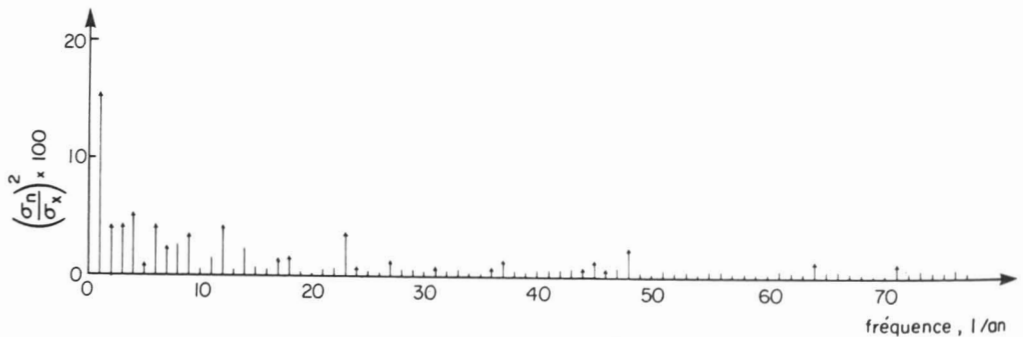
Figure 4. Corrélogramme des valeurs journalières de la pression atmosphérique et du niveau de l'eau.

de corrélation de  $-0,78$  avec le décalage d'une journée entre ces deux paramètres, comme l'indique le corrélogramme de la figure 4, et dont les périodogrammes respectifs sont montrés à la figure 5.

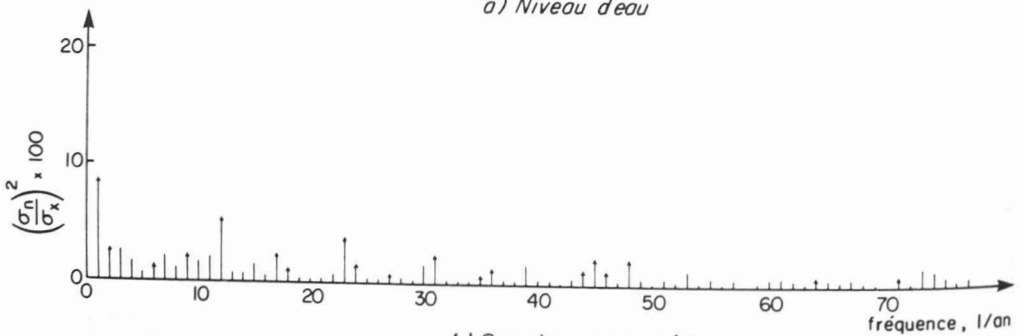
D'autre part, un modèle régressif faisant intervenir en plus la vitesse du vent et sa direction ne permet pas d'accroître sensiblement le pourcentage de la variance non expliquée par la pression atmosphérique à Poste-de-la-Baleine. Cependant, un examen des corrélogrammes entre les niveaux

d'eau à deux stations, soit Churchill et Inoucdjouac, a conduit à retenir le niveau d'eau à Churchill comme seconde variable explicative. En effet, le niveau d'eau à Churchill est peu corrélé avec la pression atmosphérique à Poste-de-la-Baleine, ce qui n'est pas le cas pour la station d'Inoucdjouac, ceci afin d'éviter les effets néfastes de la multicollinéarité (tableaux II et III).

Bien que ce modèle régressif puisse s'appliquer à l'étude des valeurs extrêmes, il n'a été utilisé que pour la détermination du



a) Niveau d'eau



b) Pression atmosphérique

Figure 5. Périodogramme des valeurs journalières du niveau filtré et de la pression atmosphérique.

TABLEAU II

Coefficients de corrélation et déphasages entre les variables explicatives du 1976.10.01 au 1976.12.27.

	<i>DMAN0049</i>	<i>P. atm.</i>	<i>Churchill</i>	<i>Inoucdjouac</i>
DMAN0049	1 (0)	-0,75 (1)		0,89 (0)
P.atm.		1 (0)		
Churchill	0,70 (1)	-0,33 (1)	1 (0)	0,66 (1)
Inoucdjouac		-0,75 (1)		1 (0)

( ) déphasage en jours

niveau moyen à long terme, car il aurait fallu faire une recherche plus approfondie des variables explicatives du phénomène.

**Résultats**

MODÈLE HARMONIQUE

Les niveaux d'eau extrêmes générés à l'aide du modèle harmonique sur une période de 22 années sont représentés à la figure 6. Ils ont été obtenus à partir du modèle de simulation à long terme suivant :

$$N_r = M_r + A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \cos \frac{2\pi n \cdot r}{N} + B_n \sin \frac{2\pi n \cdot r}{N} + \begin{cases} \epsilon_{\max} \\ \epsilon_{\min} \end{cases} \quad [3]$$

où  $n : 1, 2, 3, 4 \dots$ , est le numéro de la composante cyclique;  $N_r$  est le niveau de l'eau au temps  $r$ ;  $M_r$  est la marée prédite au temps  $r$ ;  $A_0, A_n, B_n$  sont des coefficients de Four-

rier, et  $\epsilon$  représente le résidu aléatoire généré suivant la loi du résidu de l'échantillon.

Les différents termes de l'équation ont été obtenus comme suit: a) Les composantes cycliques du niveau filtré étaient constituées de six harmoniques et du fondamental décelés dans l'échantillon, dont le périodogramme apparaît à la figure 5. Ces sept composantes, qui expliquent 42,5% de la variance totale, se reproduiront intégralement sur les 21 années suivantes. b) Le résidu obtenu par l'extraction de ces sept composantes, qui est séquentiellement indépendant au troisième jour, a été simulé par génération à l'aide d'un programme d'ordinateur (Ralston & Wilf, 1967) suivant la loi normale. On a généré deux séries de valeurs pour le maximum et le minimum de chaque sous-groupe de trois valeurs. c) La marée prédite à Poste-de-la-Baleine a été amplifiée du facteur constant de 1,08.

Le test d'inversion montre que les deux séries de valeurs extrêmes sont aléatoires.

TABLEAU III

Coefficients de corrélation et déphasages entre les variables explicatives du 1976.03.02 au 1977.05.22.

	<i>DMAN0049</i>	<i>P. atm.</i>	<i>Churchill</i>	<i>Inoucdjouac</i>
DMAN0049	1 (0)	-0,73 (1)		0,89 (0)
P.atm.		1 (0)		
Churchill	0,71 (1)		1 (0)	0,59 (1)
Inoucdjouac		-0,68 (1)		1 (0)

( ) déphasage en jours

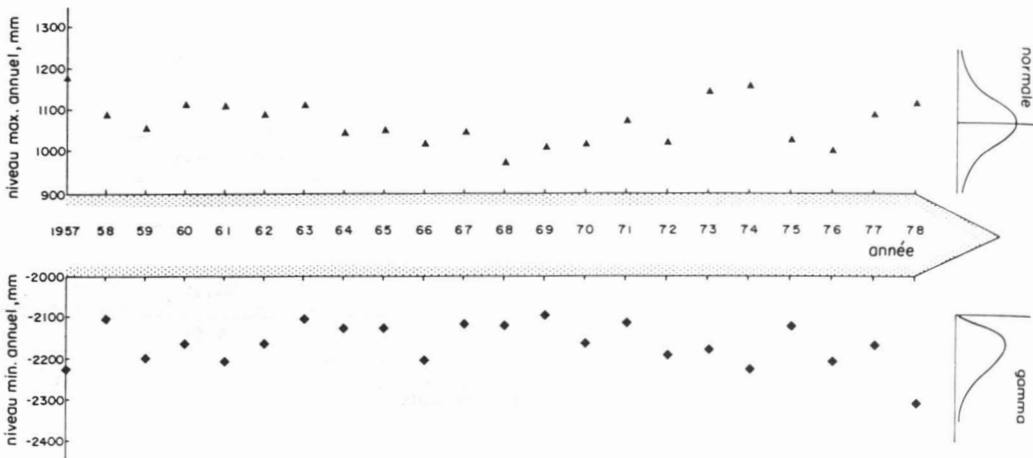


Figure 6. Niveaux extrêmes annuels simulés par le modèle utilisant sept harmoniques.

Les temps de retour pour bandes de confiance de 95%, calculés par la méthode de Kite (1975), sont montrés à la figure 7. Une étude statistique de ces séries révèle que les minimums sont distribués suivant une loi gamma (fig. 8a) avec coefficient d'asymétrie négatif, tandis que les maximums suivent une distribution normale (fig. 8b).

grand nombre de valeurs des niveaux d'eau à partir de la pression atmosphérique enregistrée depuis plusieurs années. La meilleure droite de régression explique 61% de la variance du niveau moyen journalier. Toutefois, le résidu d'un tel modèle ne manifeste un niveau d'indépendance séquentielle qu'au quatorzième jour.

MODÈLE RÉGRESSIF

Le modèle régressif utilisé pour compléter les données a aussi servi à simuler un

Dans le but de réduire la dépendance séquentielle, nous avons envisagé de rajouter une variable explicative au modèle régressif sous la forme du vent dominant.

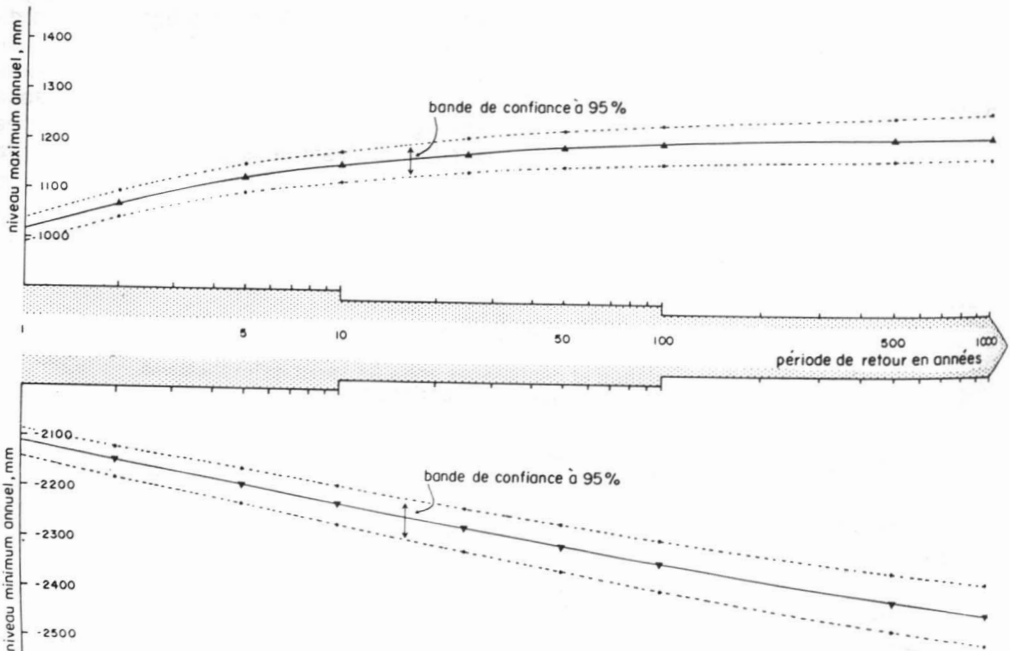
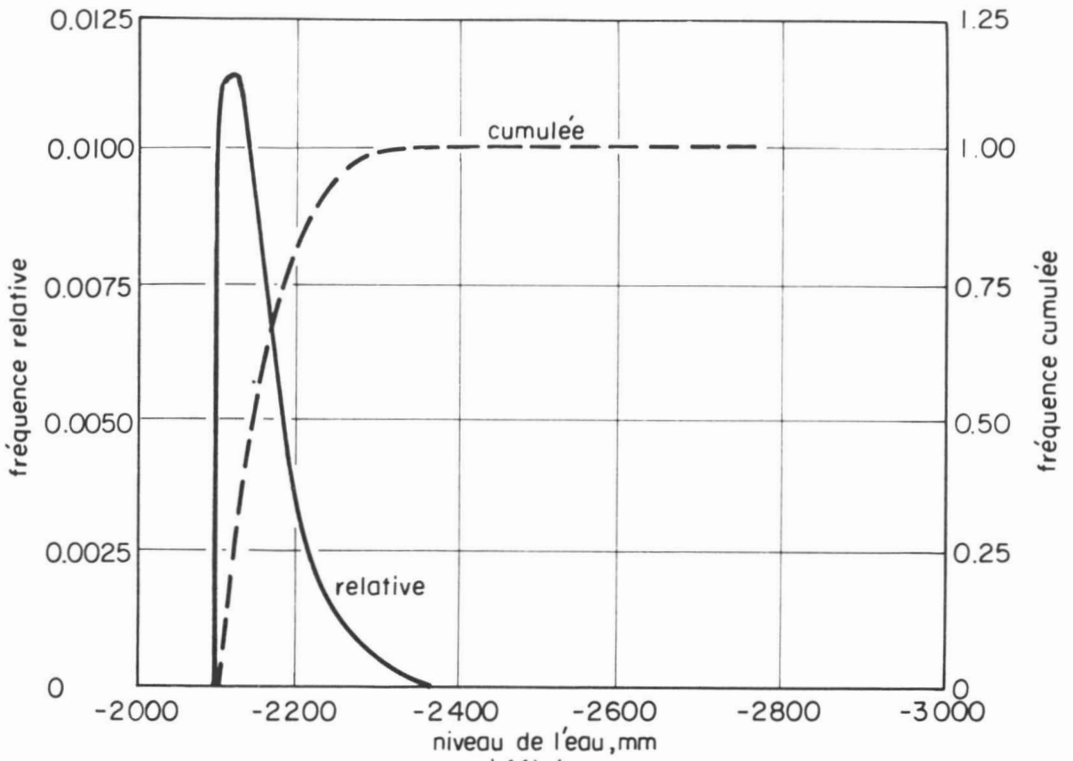
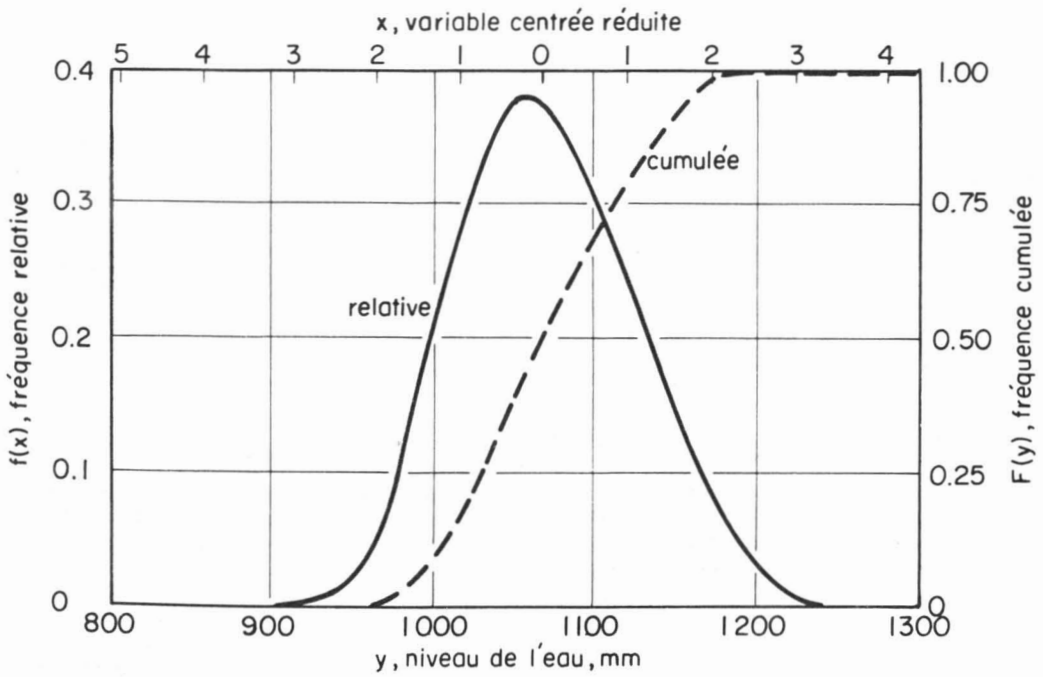


Figure 7. Temps de retour des niveaux extrêmes annuels simulés et bandes de confiance à 95%.



a) Minimums



b) Maximums

Figure 8. Fonctions de distribution et de densité de probabilité des niveaux extrêmes annuels.

L'addition de ce paramètre ne diminue pas de façon appréciable le pourcentage de la variance non expliquée ni le degré de dépendance séquentielle du résidu. Pour cette raison, nous avons retenu le modèle basé uniquement sur la pression atmosphérique pour générer une série de données sur une période de près de 21 années (7 637 jours), soit du 1957-02-01 au 1977-08-31. La moyenne du niveau d'eau ainsi obtenue à long terme est de -610 mm.

La recherche de variables explicatives supplémentaires a permis de retenir le niveau d'eau mesuré à Churchill comme variable à utiliser dans le modèle régressif, à cause de sa bonne corrélation (0,70) avec le niveau d'eau en DMAN0049 et de sa faible corrélation (-0,33) avec la pression atmosphérique. Le modèle de régression multiple ainsi obtenu à partir des données disponibles en commun s'écrit :

$$N = 1425,030 - 1,614 P + 0,658 C \quad [4]$$

où N est le niveau d'eau à DMAN0049 en mm, P, la pression atmosphérique à Poste-de-la-Baleine en mb, et C le niveau d'eau à Churchill (en mm).

La dépendance séquentielle du résidu de ce modèle est réduite à deux jours, comparativement à quatorze jours pour le modèle précédent, tandis que le pourcentage de la variance expliquée passe à 72%. Sachant que la pression atmosphérique moyenne à Poste-de-la-Baleine est de 1013,04 mb calculée sur la période du 1957-02-01 au 1977-08-31 et que le niveau moyen à Churchill sur la période correspondante est de 2435,4 mm, on détermine que le niveau moyen au DMAN0049 est alors de -497 mm.

L'intervalle de confiance de ce paramètre peut s'obtenir à partir des intervalles correspondants de variables indépendantes à l'aide de la matrice de variance-covariance des coefficients de régression (Neter & Wasserman, 1974). La variance de cette moyenne est égale à 289 mm<sup>2</sup>. À l'aide de la distribution *t* de Student pour un niveau de signification de 95% avec 165 degrés de liberté, les limites du niveau moyen sont alors comprises entre -525 mm et -469 mm.

### Conclusion

La détermination du niveau moyen à long terme d'une étendue d'eau et de ses fluctua-

tions autour de cette moyenne est une donnée essentielle à l'élaboration de projets hydrauliques, spécialement si on est en présence d'un système où les causes des fluctuations du niveau sont dues à plusieurs phénomènes en présence. C'est le cas du niveau d'eau dans le détroit de Manitounuk où les fluctuations sont causées par la marée et par des composantes de plus longues périodes, dont la plus importante est celle due aux vagues de tempête.

On a établi que le niveau d'eau moyen à long terme à la station DMAN0049 du détroit de Manitounuk se situe à -500 mm. Ce résultat nous permet alors de calculer l'énergie espérée à la centrale GB-1 qu'on désire implanter dans la partie aval de la Grande rivière de la Baleine. En revanche, les fluctuations journalières et mensuelles ont pu fournir une information valable sur les variations de l'énergie moyenne au cours de ces périodes. Il devient alors possible, avec une bonne gestion journalière du complexe, de tirer avantage des variations du niveau d'eau dues aux marées. Enfin, les données obtenues sur les fluctuations à long terme ont servi à préciser le calage de la galerie de fuite.

### Remerciements

Nous exprimons notre reconnaissance envers Hydro-Québec qui a subventionné cette étude et qui en a permis la publication. Cet article a été tiré en grande partie du rapport n° CRE-80/01 intitulé «Analyse statistique du niveau d'eau dans le détroit de Manitounuk» préparé à Centreau en collaboration avec les auteurs par messieurs Tonino J. Nzakimuena et Jean-Loup Robert, avec l'assistance de monsieur Gilles Brosseau, du Service de l'hydrologie à Hydro-Québec. À ces collaborateurs nous exprimons notre plus vive gratitude.

### Références

- ALAM, S., 1977. Complexe Grande Baleine. Etude sur modèle réduit du détroit de Manitounuk dans les conditions actuelles et après les aménagements. — Laboratoire d'hydraulique La-salle, 2 tomes, 168 p.
- ARCHIBALD, D. C., 1969. Intense storm tracks over Hudson Bay, the eastern Nova Scotia coast and the Grand Banks. — The Ice Seminar. C.I.M. Special, 10: 36-44.
- BATH, M., 1974. Spectral analysis in geophysics — Elsevier Scientific Publishing Company. New York, 563 p.

- CHOW, V.T., 1964. Handbook of applied hydrology. Chapter 2. Oceanography. — McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- FREEMAN, N.G. & T.S. MURTY, 1976. Numerical modelling of tides in Hudson Bay. — J. Fish. Res. Bd Can., 33: 2345-2361.
- GAGNON, J., 1977. Complexe Grande Baleine, site GB-1, fluctuation du niveau de la mer. — Hydro-Québec, Note technique, n° SH-77-360, 10 p.
- GODIN, G., 1972. The analysis of tides. — University of Toronto Press, 30 p.
- GODIN, G., 1974. La marée à Québec. — Service des données sur le milieu marin, conférence donnée à Québec devant la Société météorologique du Québec, 25 p.
- GODIN, G., 1975. Les vagues de tempête dans la baie James. — Naturaliste can., 102: 219-227.
- GODIN, G. & L. TROTTIER, 1975. Trieste-water levels 1952-1971: a study of the tide, mean level and seiche activity. — Dept. Fish. Mar. Sci., Environment Canada, Misc. Special Pub., no. 28, 24 p.
- GROVES, G.W., 1955. Numerical filters for discrimination against tidal periodicities. — Trans. Am. geophys. Un., 36: 1073-1084.
- GROVES, G.W., 1968. Time series regression of sea level on weather. — Rev. Geophys., 6: 129-173.
- GROVES, G.W. & M. MIYATA, 1967. On weather-induced long waves in the equatorial Pacific. — J. mar. Res., 25: 115-128.
- HAMON, B.V., 1962. The spectrums of mean sea level at Sydney, Coff's Harbour and Lord Howe Island. — J. geophys. Res., 67: 5147-5155.
- HAMON, B.V., 1966. Continental shelf waves and the effects of atmospheric pressure and wind stress on sea level. — J. geophys. Res., 71: 2883-2893.
- HANNAN, E.J., 1966. Spectral analysis for geophysical data. — Geophys. J.R. astr. Soc., 16: 275-293.
- IPPEN, A.T., 1966. Estuary and coastline hydrodynamics: chapter 4 (Tides and harmonics analysis). — McGraw-Hill Book Co., 747 p.
- ISOZAKI, I., 1968. An investigation on the variations of sea level due to meteorological disturbances on the coast of the Japanese Islands. — Pap. Met. Geophys., Tokyo, 19: 401-426.
- KINSMAN, B., 1965. Wind waves. Their generation and propagation on the ocean surface. — Prentice-Hall Inc., 676 p.
- KITE, G.W., 1975. Confidence limites for design events. — Water Resources Research, Am. geophys. Un., 11: 48-53.
- LLAMAS, J., 1972. Methodes statistiques. — Sixième colloque d'initiation aux principes de l'hydrologie, Université Laval, 69 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES DU CANADA, 1971. Monthly and yearly mean levels. — Tidal, vol. 2. Ottawa.
- NETER, J. & W. WASSERMAN, 1974. Applied linear statistical models. — Richard D. Irwin, Inc., 842 p.
- NYRTKI, K., 1979. Sea level variation: monitoring the breath of the Pacific. — Trans. Am. geophys. Un., 60: 25-27.
- OUELLET, Y. & J. LLAMAS, 1979. Complément et analyse statistique des hauteurs de vagues dans le golfe du Saint-Laurent. — Naturaliste can., 106: 123-139.
- PHILIPS, K. & R. BLOMME, 1973. Analyse chronologique. — Unité d'analyse économique, Université catholique de Louvain, 339 p.
- PLATZMAN, G.W. & D.B. RAO, 1964. Spectra of Lake Erie water levels. — J. geophys. Res., 69: 2525-2535.
- RALSTON, A. & H.S. WILF, 1967. Mathematical methods for digital computers. — John Wiley & Sons, vol. 11, ch. 12, 287 p.
- RODEN, G.I., 1960. On the non-seasonal variations in sea level along the west coast of North America. — J. geophys. Res., 65: 2809-2826.
- RODEN, G.I., 1966. Low frequency sea level oscillations along the Pacific coast of North America. — J. geophys. Res., 71: 4755-4776.
- ROSSITER, J.R. & G.W. LENNON, 1968. An intensive analysis of shallow water tides. — Geophys. J.R. astr. Soc., 16: 275-293.
- TRIBOULET, J.P., 1976. La marée à Poste-de-la-Baleine. — Projets de centrales, Hydro-Québec, Service hydraulique, Division hydrologie, 28 p.
- TRIBOULET, J.P., 1977. Déroit de Manitousuk, relevés marégraphiques. — Hydro-Québec, lettre n° 77-09, 6 p.
- WILDING, A., M. COLLINS, & G. FERENTINOS, 1980. Analysis of sea level fluctuations in Thermaikos Gulf and Salonica Bay, north-western Aegan Sea. — Estuar. coast. mar. Sci., 10: 327-334.
- YUEN, K.B. & T.S. MURTY, 1972. A preliminary study of storm surges in Hudson Bay. — Pages 215-234 in Proceedings, 13th Coastal Engineering Conference, Vancouver, Society of civil Engineers.
- ZETLER, B.D., M.D. SCHULDT, R.W. WHIPPLE & S.D. HICKS, 1965. Harmonic analysis of tides from data randomly spaced in time. — J. geophys. Res., 70: 2805-2811.



## MEAN AND TIDAL CIRCULATION OF THE EASTMAIN RIVER (JAMES BAY)<sup>1</sup>

R. G. INGRAM

*Institute of Oceanography, McGill University  
3620 rue University, Montréal, Québec H3A 2B2*

### Résumé

Des mesures de courant, de température et de salinité furent prises à l'été 1979 et à la fin de l'hiver 1980, à l'embouchure de la rivière Eastmain et dans les eaux côtières adjacentes de la baie James. La comparaison entre les variations de basse fréquence du débit de la rivière et l'amplitude des courants de marée ont servi à déterminer les caractéristiques de l'intrusion saline. Les différences de régime hydrographique en eau libre et sous un couvert de glace sont principalement responsables du changement des caractéristiques de l'épanchement d'eau douce et de l'intrusion saline dans l'estuaire.

### Abstract

Measurements of current velocity, temperature and salinity were made both in the summer of 1979 and the winter-spring period of 1980 within the Eastmain River and adjacent coastal waters of James Bay. Comparison of low frequency fluctuations in the river flow and tidal current amplitude is used to determine the salinity intrusion characteristics. Contrasting hydrographic conditions in open water and under an ice cover are responsible for changes in both the offshore plume characteristics and salinity distribution in the estuary.

### Introduction

A knowledge of the salinity and circulation variability in an estuary is of importance in understanding the distribution of chemical, biological and other properties. These characteristics not only vary from one estuary to another but also over the annual cycle within a particular river. For example, changes in freshwater discharge, wind and tidal mixing dynamics may significantly alter the observed salinity distribution. Another feature influencing the estuarine and offshore hydrodynamics at higher latitudes is the presence of an ice cover for some period each year. Studies of the above processes and effects are necessary in order to develop accurate predictive models of circulation and salt intrusion under natural conditions and that resulting from man-made flow diversions in the upper reaches of rivers. Modification of the natural freshwater runoff cycle for the production of hydroelectric power has become increasingly more frequent in recent years.

The present work concerns the Eastmain River, which enters James Bay on its eastern boundary. The river is relatively shallow (<6 m) in its lower reaches. It has a mean annual fresh water discharge of 1,190 m<sup>3</sup>/s, ranging from a monthly mean of 260 m<sup>3</sup>/s in March to 2,460 m<sup>3</sup>/s in June. The relative magnitude of the freshwater discharge volume and the tidal inflow volume is at some seasons similar to that occurring in the Connecticut River (Garvine, 1974, 1975) and the Grande rivière de la Baleine (Ingram, 1981), which leads to some similarities of flow conditions. As discussed by Garvine (1974), there are two major classes of estuarine salinity distribution, the riverine and the plume modes. The former indicating salinity transition within the river while the latter implies a transition from fresh to salt water occurring wholly in the coastal body of water.

The aim of this work is to provide a description of the salinity and velocity distributions in the Eastmain River and adjacent James Bay in both summer and winter. Furthermore, the pattern of the observed salinity intrusions will be related to changes in fresh water discharge, tidal mixing and under-ice flow characteristics. Because of its remote

<sup>1</sup>Contribution to the programme of GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).



geographical location no extensive work of an oceanographic nature has been previously conducted in this area. A major incentive to initiate this work was the planned fresh water cut-off the Opinaca and Eastmain rivers in late spring and summer 1980 respectively, as part of the La Grande hydroelectric power development. The present data were all taken prior to these modifications. Prinsenberg (1980) described in detail the natural and altered discharge values for this and other development schemes in Hudson and James Bay.

### Methods

Aanderaa recording current meters were used at each mooring location and for profiling at a small number of anchor stations. Sampling rate was 10 minutes when moored and 30 seconds during profiles. These instruments record current speed and direction, temperature, conductivity and pressure. In addition to the current meters, an Aanderaa tide gauge was moored near the village of Eastmain for a 15 days period in August 1979. CTD sampling was done using a Beckman RS-5 with numerous bottle calibrations for salinity. Daily freshwater runoff values were provided by the *Société d'Énergie de la*

*Baie James*. In regard to meteorological conditions only a limited set of local wind data was available because of an intermittent instrument failure. A complete data set was available for La Grande Rivière, some 200 km to the north of Eastmain, from the Canadian Atmospheric Environment Service station. Although wind values from this distant location were not suited for a detailed explanation of events at Eastmain, they were thought to give an indication of the general wind direction and the presence of low or high speeds.

All current vectors have been decomposed into components along-channel and positive out of the estuary (U) and cross-channel values (V) 90° counterclockwise to U. The orientation of U was chosen to be along 270° True.

### Results

#### SUMMER CONDITIONS

In Figure 1, the position of the CTD profile stations and the current meter mooring locations are shown in a place map of the study area. A detailed bathymetric chart of the lower reaches of the river can be found in d'Anglejan (1982). Maximum depths were

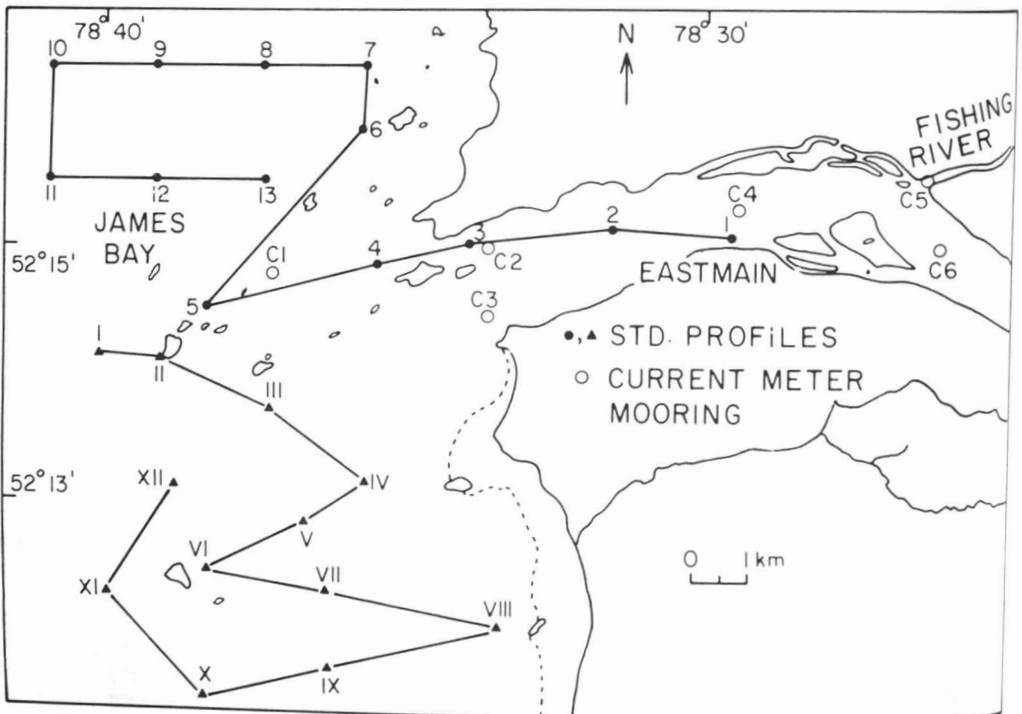


Figure 1. Place map of study area.

typically 6 m with a mean value of about 3 m. CTD sampling was done simultaneously by two vessels in a period of less than 4 h centred on the time of the appropriate tidal extrema. One vessel sampled the northern set of stations (Arabic numerals) while another did similar work in the southern grid (Roman numerals). The isohaline pattern obtained from these data for high and low tide is shown in Figure 2. The surface area of the plume for high tide on 22 August (day 234) and low tide conditions on 26 August (day 238) was approximately 100 km<sup>2</sup>. Typical halocline depth was between 1.0 to 1.5 m in the nearshore areas of James Bay (Fig. 3). Fresh water discharge at the metering location (160 km upstream of mouth) during the week of 20-27 August 1979 was 830 m<sup>3</sup>/s, somewhat lower than the mean annual discharge. Normal tidal range near the river mouth was about 1 m. Maximum flow speeds during the ebb in the surface layer near station 4 were ~ 70 cm/s with a strong velocity shear over the pycnocline at a depth of 1.2 m. Daily average winds at La Grande Rivière on 22 August (day 234) and 26 August (day 238) were 24 and 16 km/h, directed towards the northeast and north, respectively. Monthly average for August was 18 km/h, directed easterly.

The surface isohaline distribution to the south of the river mouth differed from that to the north in that all isopleths intersected the coast. The offshore limit of the plume to the north could not be accurately defined from our sampling program as the isohalines for values exceeding 8‰ paralleled the coast. At the river mouth a marked contrast could be seen between high and low tide, with the division between fresh and brackish water some 4 km upstream during the flood.

The surface salinity values near the river mouth shown in Figure 2 at high tide were not commonly observed, as can be seen in current meter results taken at stations C-2 and C-3 (Figs. 4, 5). Thus, the cross-channel extrapolation of isohalines at this location may also be misleading. In Figure 4, current velocity, temperature and salinity are shown for station C-2 for a 14 day period in August 1979. It can be seen that intrusions occurred regularly, with highest salinity values occurring during spring tides. Only during periods of larger than normal offshore velocities (U) did the salinity remain zero throughout the semidiurnal tide cycle. These events were assumed to result from the presence of strong offshore winds. Average daily winds

at La Grande Rivière on days 228, 232 and 233 were above average in strength and directed towards the southwest. No meteorological data were available on day 240. Overall, salinity values were negatively correlated with temperature, the fresh river water being warmer than James Bay waters at this time of the year. Currents at station C-2 were generally oriented in an E-W direction, conforming to the local bathymetry. Maximum depths ranged from 2-3 m.

In contrast to the numerous salinity fluctuations at C-2, intrusions of water from James Bay were much less frequent at C-3, as shown in Figure 5. This is believed to result mainly from the large shallow (1-2 m) regions located seaward of the station. Here the only major salinity intrusions occurred for negative values of U, assumed to result from on-shore winds. Average daily winds at La Grande Rivière confirm this relationship on days 234 and 242, but not on day 235. As previously mentioned, the distance between Eastmain and the wind observatory may account for any discrepancies. No simple relationship between salinity events at stations C-2 and C-3 could be seen from the records. Dominant flow direction at C-3 was WSW, following the channel topography. Comparison of current orientation at C-2 and C-3 showed a splitting of the flow into two branches.

In Table I, averages computed over an integral number of lunar days for each sampled variable at all current meter stations shown in Figure 1 are presented. Also given in this table are the amplitudes of the lunar semidiurnal tidal currents (M<sub>2</sub>) which were computed using the tidal current analysis programs of Foreman (1978). Although data obtained at stations C-1, C-5 and C-6 will not be treated in detail the mean values are included as an aid to later discussion. No salinity intrusions were recorded at station C-4, C-5 and C-6 during late August and early September 1979. The mean flow in the ambient waters of James Bay, under the brackish plume at station C-1, was northerly in direction and the waters characterized by mean salinities of between 11 and 13‰. Semidiurnal tidal currents were strongest at the near surface C-1 mooring and weakest just upstream of the mouth of La Pêche River (Fishing River), a tributary of the Eastmain River (Station C-5). Values of the M<sub>2</sub> tidal currents at stations C-2, C-3 and C-4 were similar in magnitude, ranging from 20 to 23 cm/s. Both mean and tidal currents in the

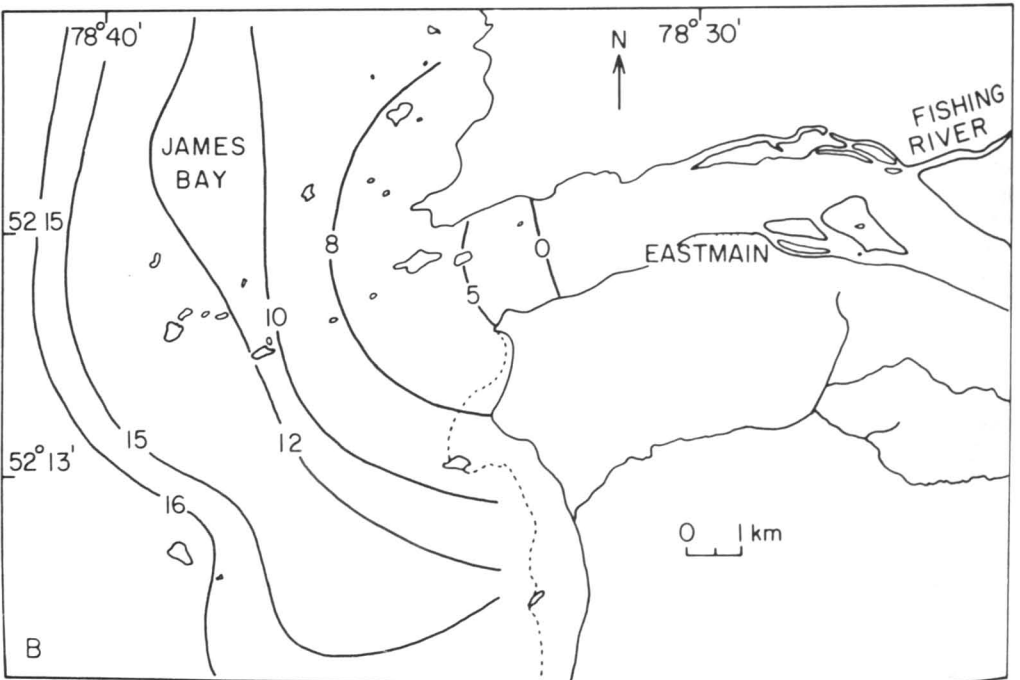
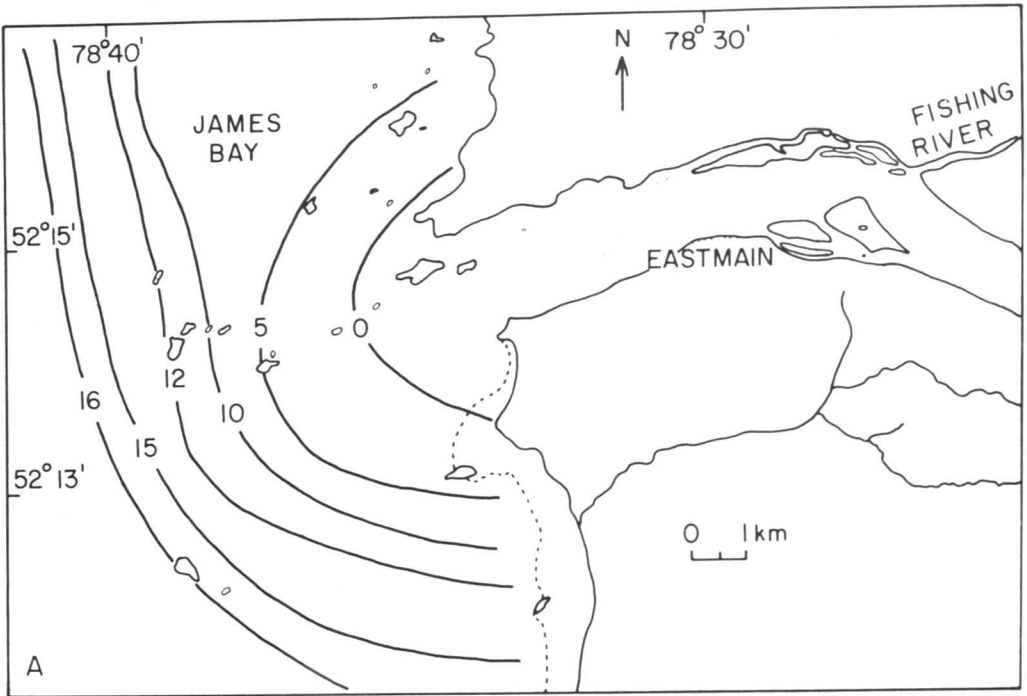


Figure 2. Interpolated surface isohaline contours. A. low tide on 26 August 1979 (day 238); B. high tide on 22 August 1979 (day 234).

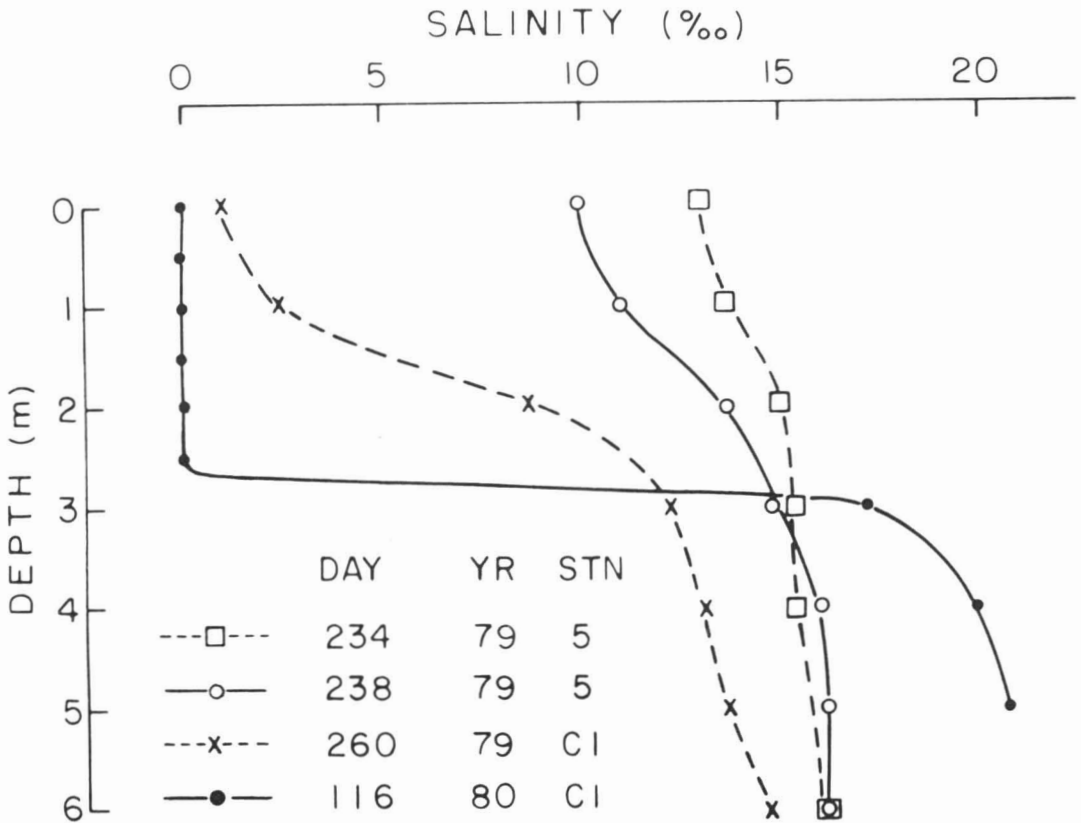


Figure 3. Salinity profiles as a function of depth at locations shown. All data at low tide ( $\pm 2$  hours) except those on day 234 which were taken at high tide.

river were predominantly along the estuarine axis.

SPRING CONDITIONS

Although a similar pattern of CTD profiles to that taken in the summer was not repeat-

ed through the ice, the data collected showed the plume to be much larger in areal extent and thicker, with a freshwater layer of some 2.5 m in depth overlying the ambient waters in the near shore. Surface salinities of less than 1‰ were obtained at both high and low tide in late April 1980 at stations 5, 8, IV, XII, C-1, C-2 and C-3. In Figure 3, one

TABLE I  
Mean of current meter values. Summer 1979

Station	Days	Depth (m)	Speed (cm/s)	Heading (deg)	T (°C)	S (‰)	M2 (cm/s)
C-1	228-262	3	1.4	035	11.1	11.6	36
C-1	228-266	5	4.3	060	10.5	13.3	25
C-2	228-266	2	15.1	280	12.0	1.9	20
C-3	228-266	2	34.0	250	12.4	0.3	23
C-4	225-265	3	39.0	270	13.7	0.0	20
C-4	225-242	4	35.6	270	15.4	0.0	23
C-5	226-265	1	11.1	250	11.6	0.0	7
C-6	227-248	2	*	*	13.7	0.0	*

\* Rotor malfunction.

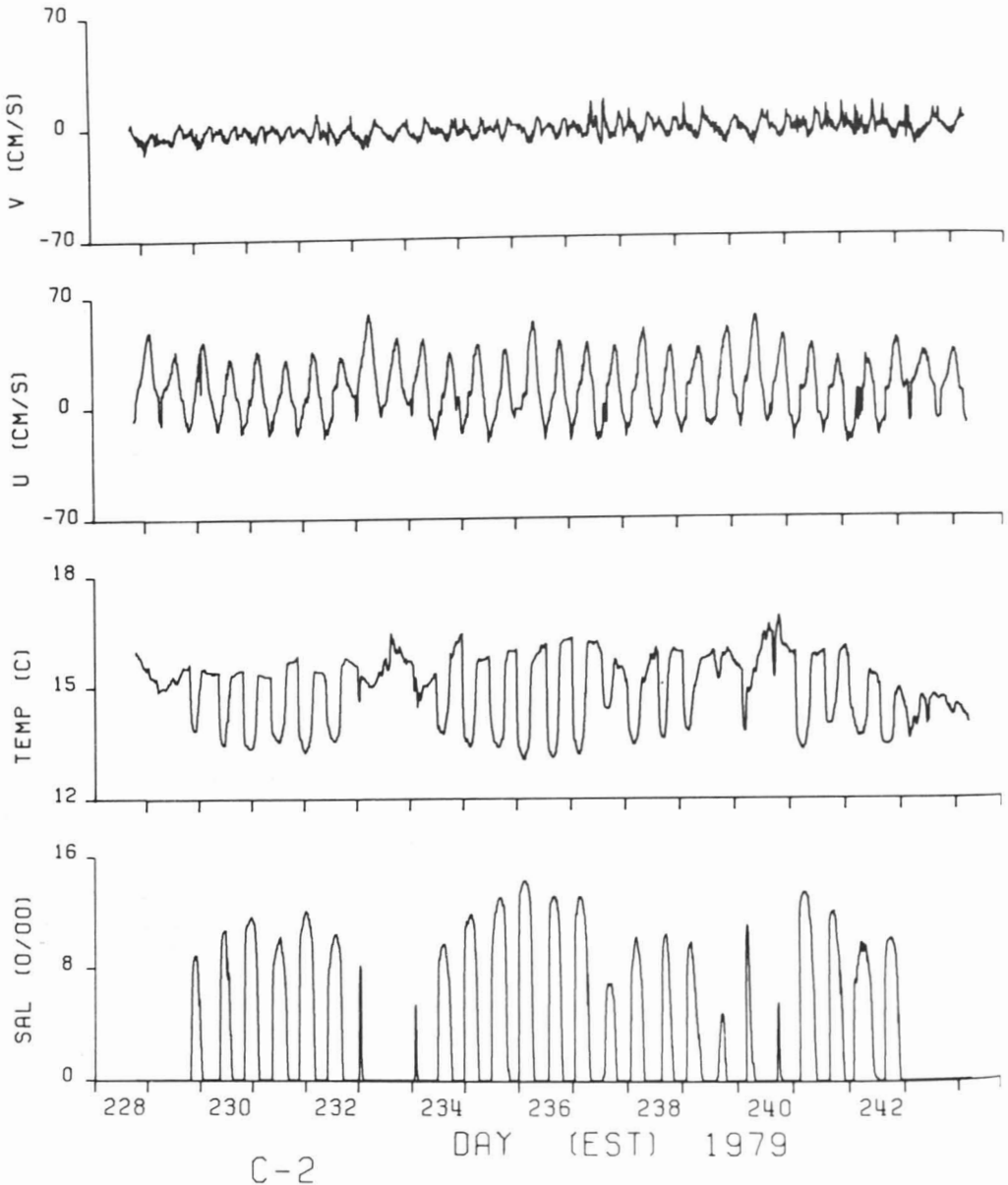


Figure 4. Time series of U, V, T and S at a depth of 2 m for station C-2 in late August 1979.

of the salinity profiles taken at station C-1 on day 116 is shown. Mean river runoff at this time was about  $380 \text{ m}^3/\text{s}$ . For comparative purposes, another profile taken at the same site in mid-September (day 260) 1979 also appears in Figure 3. Runoff values at this time exceeded  $1650 \text{ m}^3/\text{s}$ . Station XII was the only site exhibiting a similar plume depth in summer and spring. However, salinities were much lower in March and April 1980 than in the preceding summer.

In examining the current meter results only a small number of salinity intrusions were observed at stations C-2 and C-3 during the last two weeks of March 1980, associated with spring tides. In early April, a slight increase in the number of intrusions was found as can be seen in Figures 6 and 7. At both locations, major increases of salinity occurred during periods of strong upstream flow in the river mouth, which had not been present in March. The frequency of these

intrusions at C-2 was much lower in winter than in the preceding summer. Similar to the previous summer, the fresh water was warmer than the saltwater. Observed temperature and salinity values were highly correlated in a negative sense. Further upstream, at station C-4, only three minor salinity intrusions were observed over the mid-March to mid-April period, the latter half of which is plotted in Figure 8. The most significant event, on day 106, corresponded to similar observations at stations C-2 and C-3. Strong upstream velocities were present at all stations during the flood on this day. Based on the increasing occurrence of non-tidal fluctu-

ations of the flow regime in mid-April it can be speculated that meteorological events must have begun affecting James Bay in a more substantial way than earlier in the spring of 1980. Average wind speeds at La Grande Rivière on days 96, 106, 108, 110 and 111 were all larger than the monthly means and directed onshore with the exception of days 106 and 110.

In Table II, mean values for the spring survey are shown. Mean flow in James Bay under the ice, at station C-1, was similar to that found in the previous summer, but M2 tidal currents were reduced by about one-

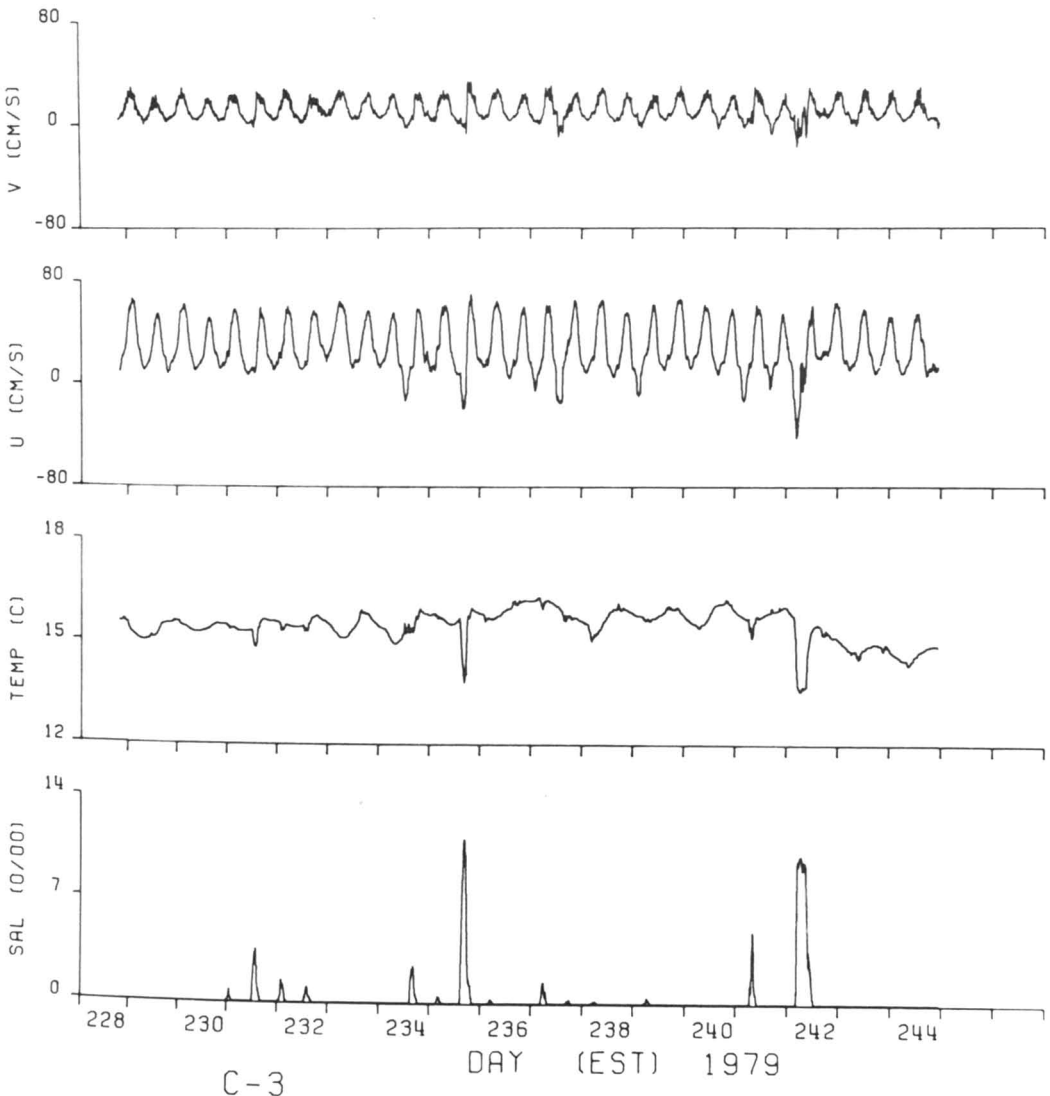


Figure 5. Time series of U, V, T and S at a depth of 2 m for station C-3 in late August 1979.

TABLE II  
Mean of current meter values. Spring 1980

Station	Days	Depth (m)	Speed (cm/s)	Heading (deg)	T (°C)	S (‰)	M2 (cm/s)
C-1	77-113	4	2.6	030	-0.8	18.1	15
C-2	76-114	3	14.0	280	-0.1	0.8	25
C-3	76-114	3	6.9	290	0.0	0.3	13
C-4	75-109	4	13.3	290	0.0	0.0	18

half. Similar to C-1, mean and M2 tidal currents at stations C-3 and C-4 were substantially smaller in March-April 1980 than in open water. Conditions at station C-2 differed from the above, in that the mean flow was almost unchanged, while slightly larger M2 tidal currents were observed in the March-April period. This is believed to result from the shallowness of the offshore area at the southern entrance to the river combined with the local sea ice distribution which may have channeled a much larger proportion of the flow through the northern side

of the river mouth than in open water conditions.

### Discussion

Similar to the work of Ingram (1981), the present observations show the marked effect of a complete ice cover on the formation and extent of the offshore plume. In spite of decreased freshwater runoff of the Eastmain River in winter and early spring the plume formed in James Bay was much larger both in horizontal area and thickness than in sum-

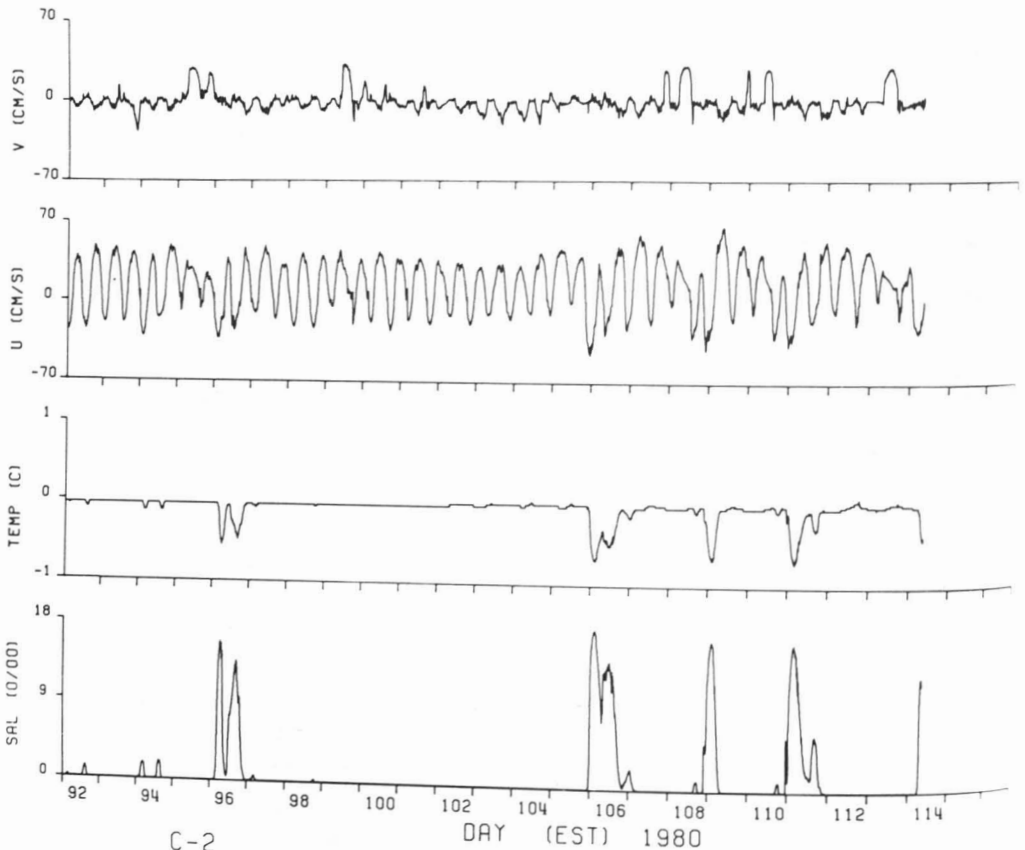


Figure 6. Time series of U, V, T and S at a depth of 3 m for station C-2 in early April 1980.

mer and fall. This is believed to result from the combined influence of reduced turbulence in the plume and changes of flow at the river mouth. Furthermore, salinity intrusions at the river mouth were generally less frequent in the ice-covered period than in open water. This was especially true at station C-2 on the northern side of the entrance and was thought to result from local effects of the shallow depth and reorienting of the flow regime by sea ice. Consonant with the reduction of river discharge (mean for 15 March-15 April 1980:  $260 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mean velocities at stations C-4 in March-April were about 30% of the August-September 1979 (mean of  $1170 \text{ m}^3/\text{s}$ ) values. Reductions in mean flow were also observed at station C-3. As discussed above, currents at station C-2 were not similarly attenuated. Tidal current amplitude, as measured by the dominant lunar semidiurnal component, was also smaller at all stations for which comparative values exist, excepting C-2. Recent work by Godin & Barber (1980) has

shown the effect of an ice cover on tidal height in shallow areas to be an attenuation of amplitude and an advance in the arrival of the tide. Comparative under-ice tidal height information was not available for the Eastmain River. However, it was noted that tidal current maxima occurred some 30 to 90 min earlier under ice than in open water when compared to tidal height predictions. In spite of the larger tidal currents and similar mean flows at C-2 under the ice, salinity intrusions were less frequent in early spring. The relative magnitude of tidal and mean flow is only one factor in determining the rate of salinity intrusion during both seasons. Major flow disturbances, believed to be meteorologically generated and offshore plume characteristics may also account for differences in this pattern.

It is interesting to calculate the relevant parameter separating riverine and plume modes of salinity transition in an estuary. Both Garvine (1975) and Hansen & Rattray

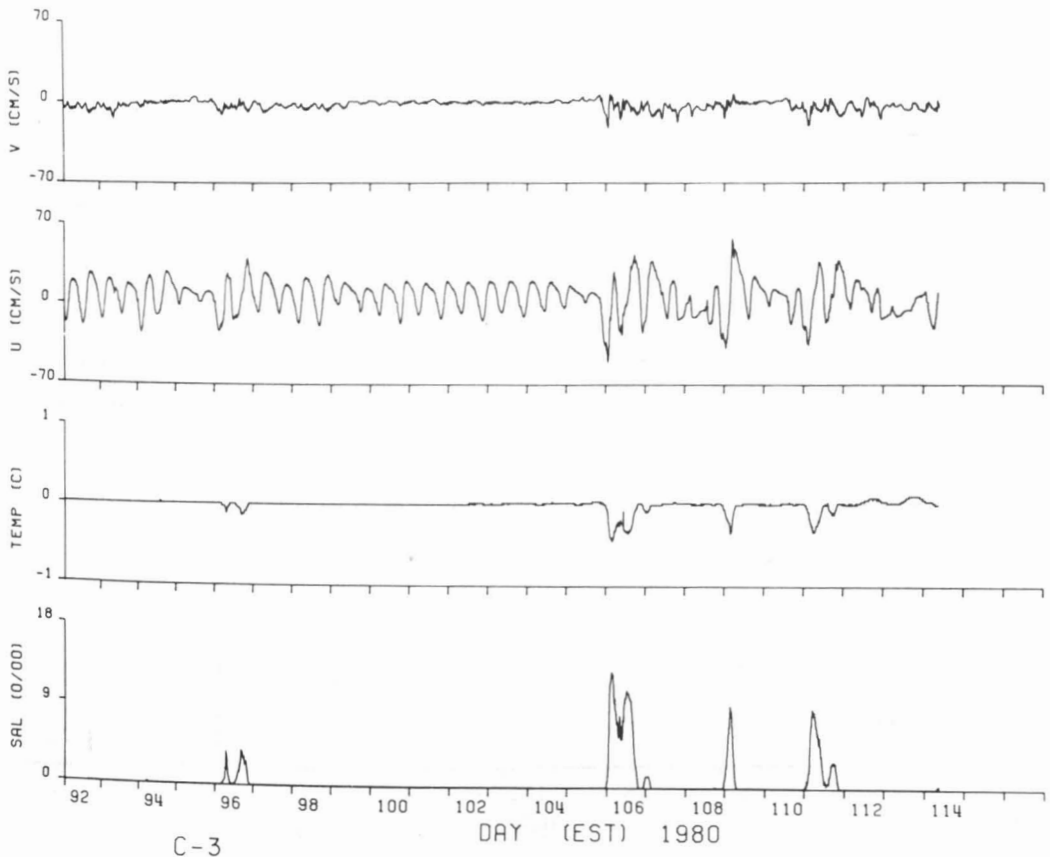


Figure 7. Time series of U, V, T and S at a depth of 3 m for station C-3 in early April 1980.



(1966) discuss such a parameter, called  $P$ , which compares the volume of freshwater discharge to the tidal volume flux. In the present case, we will examine conditions at C-4, where the low-passed velocity signal (with variability at periods less than 50 h removed) will be taken as representative of the freshwater discharge and the absolute value of the difference between the observed velocities (smoothed to hourly values) and the low-pass values as the tidal signal. Calculating  $P$  in this manner gave a mean value of 3.8 for the entire summer mooring program at C-4 and 2.2 for the March-April survey. Both of these values exceed 2, which Garvine (1975) took as the lower limit for the

establishment of the plume mode at all tidal stages. In agreement, we found no salinity intrusion for mean conditions at station C-4. However, during the most significant salinity intrusion occurring at this site in mid-April 1980 the  $P$  value, averaged over the half-tidal ( $M_2$ ) cycle during the flood, was 0.95. Garvine (1975) found that for  $P$  values between 0.75 and 2.0, the Connecticut River was free of salinity during the ebb but not for the flood. The present results show a similar relationship in the Eastmain River. It should be mentioned that  $P$  values between 1 and 2 were very common in the under-ice survey but only on three occasions was salt observed at C-4. This is relat-

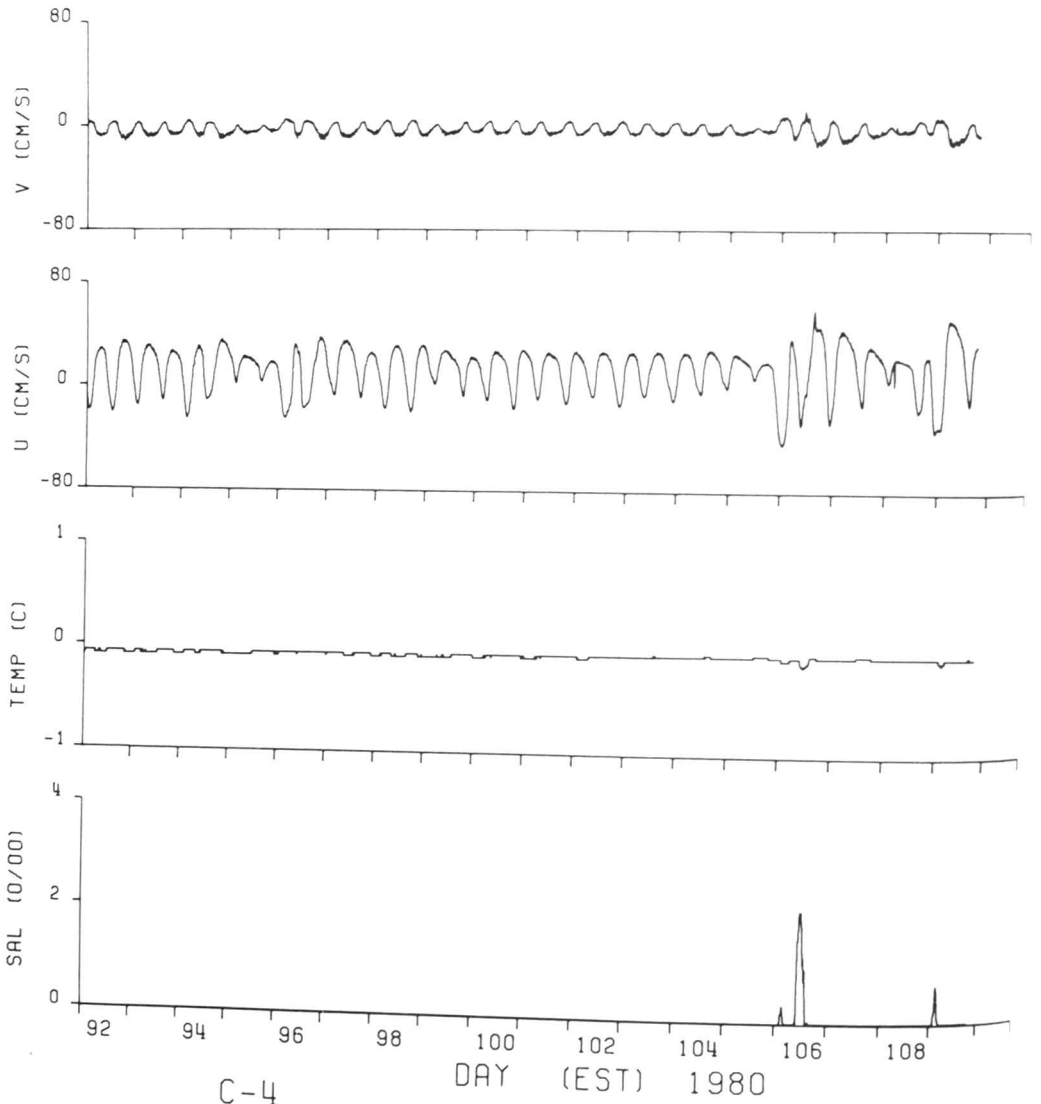


Figure 8. Time series of U, V, T and S at a depth of 4 m for station C-4 in early April 1980.

ed to the under-ice offshore extension and thickening of the plume which does not allow for frequent salinity intrusions at the shallow river mouth. Only when a meteorologically forced flow reversal occurred was there upstream salt transport as far as C-4, some 3 km from James Bay. This phenomenon was observed only when the offshore ice cover became more fragmented, which occurred in early April of 1980. Under these conditions, wind energy could be more easily transferred to the underlying water.

In James Bay, the mean circulation was weak and northerly in both August-September 1979 and March-April 1980. Tidal currents were much reduced under the ice. Offshore salinity values of the ambient waters were much higher in March and April than in late summer, in response to the variability of freshwater discharge.

In summary, the mean and tidal circulation of the Eastmain River estuary have been described during both late summer and early spring. The Eastmain River discharge formed a surface plume of fresh water in James Bay throughout the year. The frequency and location of salinity intrusions at both river mouth and further upstream were related to the mean and tidal current amplitudes and speculatively to meteorological forcing. The effect of an ice-cover in this region acts to re-orient the flow regime near the mouth, alter the offshore plume characteristics and modify the tidal current amplitude and phase.

#### Acknowledgments

I would like to thank J.F. Grenon, M. Huot, S. de Margerie, J.C. Deguise and J.P. Savard for

their work in collecting and assisting in the preliminary analysis of the data included herein. This work was supported by a research grant from the *Société d'Énergie de la Baie James* (SEBJ) to GIROQ and by an NSERC operating grant to the author.

#### References

- D'ANGLEJAN, B., 1982. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary, prior to river cut-off — *Naturaliste can.*, 109: 363-374.
- FOREMAN, M.G.G., 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction. — *Pacific Marine Science Report*, no. 78-6. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C. Canada. Unpublished manuscript, 70 p.
- GARVINE, R.W., 1974. Physical features of the Connecticut River outflow during high discharge. — *J. geophys. Res.*, 79: 831-846.
- GARVINE, R.W., 1975. The distribution of salinity and temperature in the Connecticut River estuary. — *J. geophys. Res.*, 80: 1176-1183.
- GODIN, G. & F.G. BARBER, 1980. Variability of the tide at some sites in the Canadian Arctic. — *Arctic*, 33: 30-37.
- HANSEN, D.V. & M. RATTRAY, 1966. New dimensions in estuary classification. — *Limnol. Oceanogr.*, 11: 319-326.
- INGRAM, R.G., 1981. Characteristics of the Great Whale River plume. — *J. geophys. Res.*, 86: 2017-2023.
- PRINSENBERG, S.J., 1980. Man-made changes in the freshwater input rates of Hudson and James Bay. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 1101-1110.



## PHYSICAL, CHEMICAL, AND BIOLOGICAL FEATURES OF RIVER PLUMES UNDER AN ICE COVER IN JAMES AND HUDSON BAYS

N. G. FREEMAN

*Ocean Science and Surveys  
Canada Centre for Inland Waters  
Burlington, Ontario L7R 4A6*

J. C. ROFF

*Department of Zoology, College of Biological Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1*

and

R. J. PETT

*Arctic Laboratories, P.O. Box 2630  
Inuvik, N.W.T. X0E 0T0*

### Résumé

L'analyse de la salinité, de la température, des courants, des éléments nutritifs et du seston de la couche de glace à l'embouchure de la rivière La Grande en février et mars 1980 donne une description assez détaillée du débit et du mélange du panache de la rivière avec l'eau plus salée de la Baie et de l'effet alors produit sur les variables biochimiques. On a observé, dans les premiers 5 à 10 km de l'embouchure de la rivière, une importante déviation du débit de la rivière, ainsi qu'une réduction considérable des vitesses moyennes au sein du panache. Un amincissement important de l'interface s'y produit par suite du contrôle hydraulique interne, mais il n'y a pas d'augmentation apparente d'entraînement d'eau salée dans le panache. Pour les 25 à 30 km subséquents, le nombre de Froude de l'interface est négatif et la couche supérieure continue de s'amincir, ce qui indique que l'eau de surface, avec un temps de résidence de seulement 12 jours, se mélange en aval, par suite des mouvements plus importants de la marée, juste sous le panache. Une sorte de front, délimité par les gradients horizontaux maximums de densité, sépare cette région de la région voisine bien mélangée. Dans cette dernière région, la bathymétrie et la géométrie des fonds accroissent les courants de marée et un mélange vertical de la colonne d'eau semble avoir lieu.

La répartition des variables biochimiques appuie les résultats d'une étude préalable qui indiquait que La Grande apporte une contribution minimale d'éléments nutritifs à la baie James pendant l'hiver. Les valeurs des éléments nutritifs ont tendance à être basses dans le panache et élevées dans le bassin, bien que le contraire soit vrai pour les valeurs de seston, ce qui indique des apports marins et continentaux. Sous la glace, les concentrations d'éléments nutritifs dissous sont plus élevées dans la région bien mélangée, dans la partie distale du panache. La communauté végétale de la glace est bien établie dans cette zone, dès la fin de février. Les concentrations de  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  dans la glace de surface et dans la couche de neige sont généralement deux ou trois fois plus élevées que celles de l'eau directement sous la glace, ce qui indique que la couche de neige et de glace fondante peut être une source nutritive importante pendant le *bloom* printanier.

Une comparaison des données physiques de 1980 avec celles que l'on a obtenues au large de La Grande sous les conditions de faible débit de 1976 et au large de la Grande rivière de la Baleine en 1979, où les conditions de marée et de débit étaient considérablement atténuées, montre que le volume d'eau douce de panache est en rapport direct avec le débit, et en rapport inverse avec l'énergie cinétique de marée du bassin. Une corrélation entre le nombre de Richardson de l'estuaire

et la différence verticale de salinité montre aussi deux régions distinctes de mélange : pour  $Ri_E > 1,0$ , une région stable existe où le mélange a une dépendance de force  $-1/6$  sur le nombre de Richardson de l'estuaire ; pour  $Ri_E < 1,0$ , une région bien mélangée qui a une dépendance typique de force  $-3/4$ . Dans la région d'origine, près de l'embouchure de la rivière, aucun entrainement important ni mélange dans le panache n'est observé, et il n'y a donc pas de corrélation entre la salinité du panache et le nombre de Froude.

### Abstract

Observations of salinity, temperature, currents, nutrients and seston taken in February and March 1980 from the close-packed to solid ice cover off the La Grande River mouth provide a fairly detailed description of the flow and mixing of the river plume with the more saline basin water and the resulting effect on bio-chemical distributions. Within the first 5-10 km off the river mouth, a large horizontal divergence of the river flow, accompanied by a substantial reduction in average flow velocities in the plume, is observed. A significant thinning of the interface occurs in this region due to internal hydraulic control, but there is no apparent increase in entrainment of salt water into the plume. For the next 25-30 km the interfacial Froude number is negative and the upper layer continues to thin out, indicating that surface water, with an estimated residence time of only 12 days, is being mixed downward due to increasing tidal action just under the plume. A front-like feature, delineated by maximum horizontal gradients in density, separates this region from the well-mixed area beyond. In this latter region, shoaling bathymetry increases the tidal currents and vertical mixing of the water column seems to take place.

The biochemical distributions support the view of an earlier study that the La Grande River provides minimal nutrient contributions to James Bay in the winter. Nutrient values tend to be low within the plume and high within the basin, while the opposite is true of seston levels, thus suggesting marine and riverine sources, respectively. Under-ice concentrations of dissolved labile nutrients are largest in the well-mixed region seaward of the stabilizing surface plume and an ice flora community is well established in this area by the end of February. Levels of  $NO_3 + NO_2$  in the surface ice and in the snow cover are generally a factor of two or three greater than those in the water immediately below the ice, indicating that melting ice and snow cover may be an important nutrient source to James and Hudson Bays during the spring phytoplankton bloom.

A comparison of the above physical data with salinity and current data collected off La Grande under the lower discharge conditions of 1976 and off Great Whale River (1979) where both discharge and background tidal conditions were substantially less, shows that the volume of freshwater in the plume is directly related to river discharge and inversely related to tidal kinetic energy in the basin. A correlation of estuarine Richardson number with top-to-bottom salinity difference also shows two distinct mixing regions : for  $Ri_E > 1.0$  a stable region exists where mixing has a  $-1/6$  power dependence on estuarine Richardson number and for  $Ri_E < 1.0$  a well-mixed region, which has the typical  $-3/4$  power dependence. In the initial region just off the river mouth, no significant entrainment or mixing into the plume is observed and thus no correlation of plume salinity with densimetric Froude number is obtained.

### Introduction

Recent and projected hydroelectric development on the river systems flowing into Hudson and James Bays will substantially alter the seasonal and spatial input of freshwater into this coastal plain-estuarine system. Control works have already been built on the Nelson-Churchill and the La Grande-Eastmain rivers. The Great Whale-Little Whale, and Nottaway-Broadback-Rupert projects are in the advanced planning stages.

Major changes in discharge will occur in the spring when the normally high freshet will be significantly reduced, and in the winter when peak electrical demand will require flows five to ten times higher than the natural discharge rates.

The construction of the La Grande hydroelectric complex has provided an unique opportunity to study the physical characteristics and mixing processes of an under-ice river plume for two different winter dis-

charge regimes. In addition, an annual ice-cover, which by February and March has reached equilibrium thickness, largely eliminates mixing due to wind, evaporation, and salt rejection in the ice. The survey is also made more synoptic as the vertical density gradient seems to decouple the plume from the tidal flow underneath. Thus the plume is not advected about as in the case of the open-water river plume. Devoid of wind-induced turbulence, the tidal currents in the bay appear to be the primary source of turbulent kinetic energy for mixing of the fresh and salt water. Thus tidal mixing can be studied in isolation of wind mixing.

This paper first describes the physical, chemical, and biological characteristics of the 1980 La Grande River plume and then inter-compares the La Grande pre- and mid-project plumes, and the Great Whale River plume, in order to assess the physical effects of different discharge and tidal conditions. The computation of estuarine Richardson numbers and interfacial Froude numbers for these plumes provides general mixing relationships for plume dispersion. The analysis of plume-mixing as described for Hudson and James Bay could find application in other areas of the Arctic; for example, the Mackenzie River outflow in winter. It also appears that such plumes are a significant method of dispersion for freshwater species both in post-glaciation Arctic (Barber & Murty, 1977) and in modern times (Gerrath *et al.*, 1980).

### Physical characteristics of the La Grande River plume

Physical and biological data of the La Grande River plume were collected in February and March 1980 using helicopters to transport personnel and equipment to the ice surface. Conductivity and temperature depth profiles were measured with a Guildline Mark IV CTD probe at 140 stations on an approximately 6-km grid spacing. About three weeks were required for a survey of the entire station network which was repeated approximately 2½ times during the two-month field program. Only the *along plume* and *cross plume* CTD stations of the rectangular grid are shown in Figure 1; the remaining are given in Brooks (1980). Information on flow and water structure was obtained in two ways. First, an Aanderaa CM-4 current meter was modified for use in an automated system for sampling current

speed, direction, conductivity and temperature at up to sixteen depths every hour for two semidiurnal tidal periods. Using previous CTD data, twenty-five-hour profile stations were located on land-fast ice along the plume and cross plume axes, except in the extreme north where a lack of shore-fast ice forced them inshore. These inshore stations, however, have similar salinity structures to their offshore counterparts. Second, in order to assess temporal variability throughout the two-month measurement program, a number of Aanderaa current meters with in-line vanes were rigidly suspended from the fixed ice surface.

The location of the axial CTD stations, the twenty-five-hour profile stations and the three current meter stations reported on in this paper are shown in Figure 1. Horizontal contours of the mean surface salinity (above the pycnocline) show that the river plume flows northwestward under the ice parallel to the east coast of James Bay. A sharp density front, a region of maximum horizontal rate of change of salinity, can be observed approximately 20 km offshore and a less intense front some 40-50 km northward from the river mouth. Previous bay-wide salinity data collected in the winters of 1975 and 1976 indicate that there is a persistent cyclonic circulation in James Bay. The more saline Hudson Bay water enters on the west side in a broad slow bottom flow and exits from James Bay along the east coast in a more intense surface current (Peck, 1976). It is this relatively persistent northwesterly background flow that advects the La Grande River plume northward.

The seaward edge of the shore-fast ice coincides approximately with the 20‰ contour in Figure 1. It was observed in a similar geographical location in 1979. Its location appears to be more dependent on topographic features (islands providing anchoring points) than on interannual meteorological or freshwater variations. The La Grande River discharge in February 1979 was only 30 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> while in February 1980 it was 1,400 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Seaward of this, the ice is dynamic, with a lead (maximum width 10 km) opening and closing depending on the direction and intensity of the over-ice wind field. While the open lead enables increased plume mixing due to direct momentum transfer, evaporation and cooling, it does not appear to affect vertical mixing significantly for the following reasons: 1) it was refrozen for at least half of the 1980 survey and no

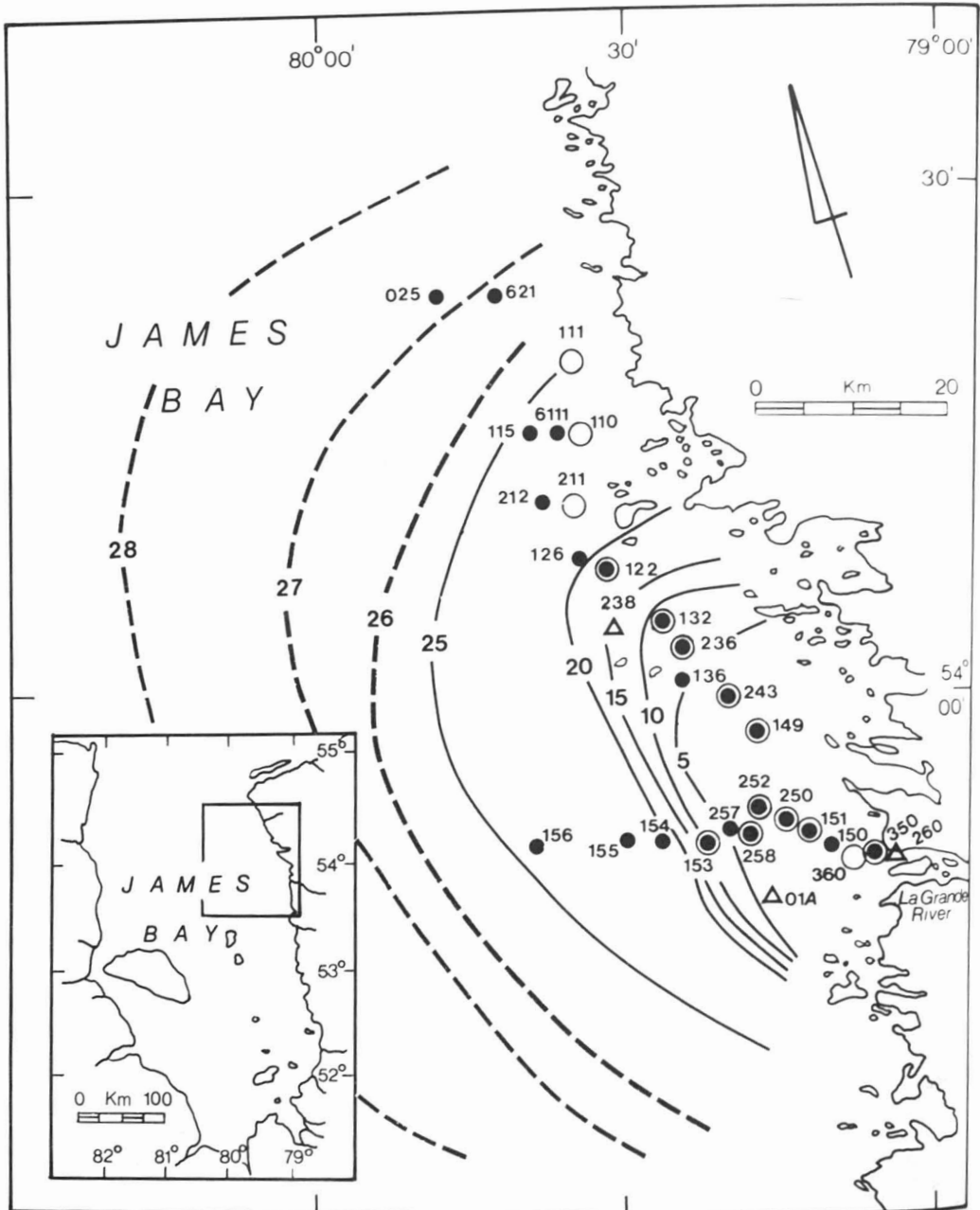


Figure 1. Surface salinity distribution (‰) off the La Grande River James Bay during March 15-30, 1980. Station locations: ● — CTD profile station; ○ — twenty-five-hour current profile station; Δ — current meter stations.

significant difference was observed in the CTD data from the three periods of the survey; 2) the temperatures in the water column were at the freezing point for local salinity values and thus the water column could not be cooled much further without the production of ice occurring; 3) while evaporation

might be an important source of convective mixing, all measurements of sigma-t from floe ice in the lead indicated a very stable density structure, thus precluding convective overturning; 4) momentum transfer from the wind was minimal as the open fetch distance for wave build-up was small.

Salinity and temperature sections north-westward along the plume axis, and westward across the axis plotted in Figure 2 show a sharp halocline at about 3-4 m depth out to 40 km from the river mouth. Above the halocline the fresh or brackish water is vertically homogeneous, while below a more diffuse structure indicative of downward mixing can be observed. This sub-pycnocline mixing of the freshwater into salt water increases in the seaward direction. Similar features are observed in the cross-plume axis. The temperature pattern basically mirrors the salinity distribution and is generally at the freezing point for local salinity values.

The tidally-averaged profile data from a representative twenty-five-hour station in the river plume is given in Figure 3. Just under the plume a strong mean flow to the north-northwest can be observed along with a region of intense tidal activity. Above the pycnocline, however, the mean and tidal current amplitudes are much lower with the mean flow substantially switching direction to the west. The large interfacial density gradient seems to decouple motion in the plume from the underlying flow and a frictional boundary layer near the ice surface further reduces flow in the upper layer. The mean density and temperature profiles indicate the presence of a well-mixed region above the pycnocline with a more diffuse region in the first few metres below. The dash-dot lines, typical of the tidal variability at most plume stations, indicate that a small displacement of the interface takes place over the tidal cycle.

Analysis of tidal streams at three representative current meter stations is shown in Table I. Data from station 260, located in the river mouth, shows a mean flow to the west of about  $50 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; this flow is modulated by tidal propagation up the river. Station 01A, located 10 km offshore and to the south of the plume, provides time-series information on the background flow. The mean flow is to the northwest at  $5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  near the surface, decreasing to  $2 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  at 10 m depth. The  $M_2$  tidal current, with its major axis oriented east-west, is four times as large as the mean flow. Current meters at station 238, located near the downstream frontal region, register mean flows of  $5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  to the northwest at the plume interface, decreasing to  $3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  below it. At all stations the diurnal to semidiurnal tidal current ratio suggests that there is little diurnal inequality in current meter records during the period of the sur-

vey. However, the fortnightly ( $S_2/M_2$ ) and lunital ( $N_2/M_2$ ) ratios show that a 50% modulation of the  $M_2$  tidal flow can occur over the month and should not be ignored in intercomparing the non-concurrent twenty-five-hour stations. Therefore, in the mixing computations introduced later, the stations have been carefully selected to correspond to the RMS tidal range over the two-month survey period.

A number of reprofiled CTD stations (Fig. 4) helped to assess the response of the plume to short term changes in river discharge. For the first three weeks in February the La Grande River discharge was nearly uniform at  $1,400 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , then it rapidly increased to  $1,800 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  for the next three weeks, and finally decreased to a uniform  $1,500 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  until the end of the survey. The mean surface salinities in the mid-plume region are negatively correlated with increasing discharge; that is, as the freshwater discharge increases the mean surface salinity decreases. Beyond the density front of the plume, where horizontal gradients are less, very little change in surface salinity can be observed over the period of the survey.

The twenty-five-hour current profile data were used to compute kinetic energy distributions, which are plotted in Figure 5 in along and cross plume vertical sections. The dashed line represents the pycnocline depth, defined as the maximum vertical gradient in density. Northwestward of station 126 a well-mixed region exists, where top-to-bottom salinity differences are only a few parts-per-thousand and no definite pycnocline is evident. In this region the dashed line represents the depth of mean salinity of the water column. It should be noted that in this area the section plotted in Figure 5 lies approximately 2-5 km west of the section in Figures 2, 6, 7, and 8, due to the operational requirement for land-fast ice. However, as can be seen by comparing Figures 2 and 5, the bathymetry of the area is similar, with a significant decrease in depth in the vicinity of station 122 characteristic of each section. In addition, the well-mixed nature of the salinity profile is observed at both sections northwestward of station 122.

The kinetic energy of the mean flow is concentrated in the first 5 km of the river plume and decreases rapidly seaward as the plume spreads out laterally. The sharp decrease in the depth of the pycnocline would suggest that a degree of internal



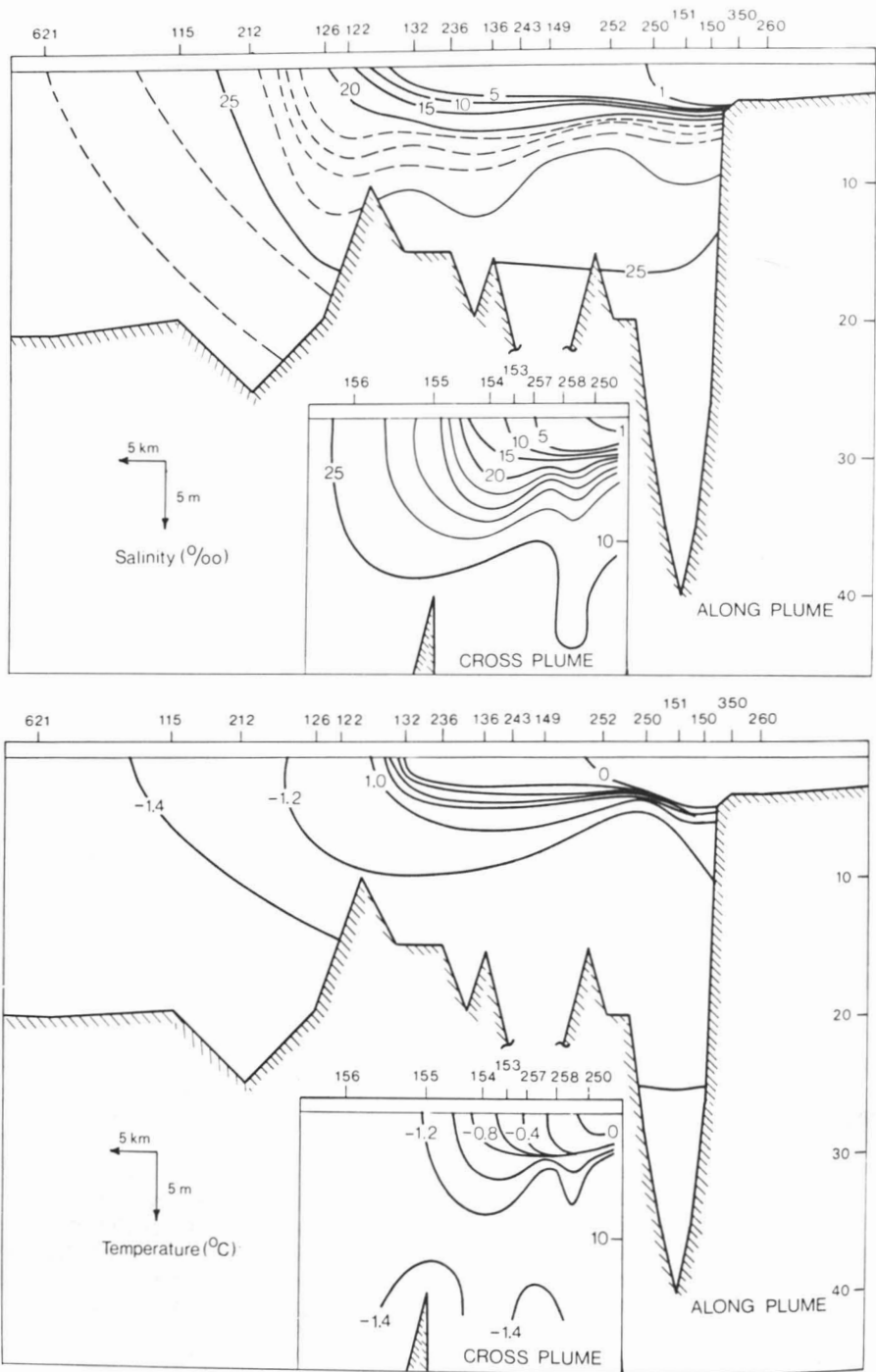


Figure 2. Salinity (‰) and temperature (°C) distributions along the plume axes during March 1-9, 1980. Contour intervals: — 5‰ salinity and 0.2°C temperature, --- 1‰ salinity.

STATION # 258

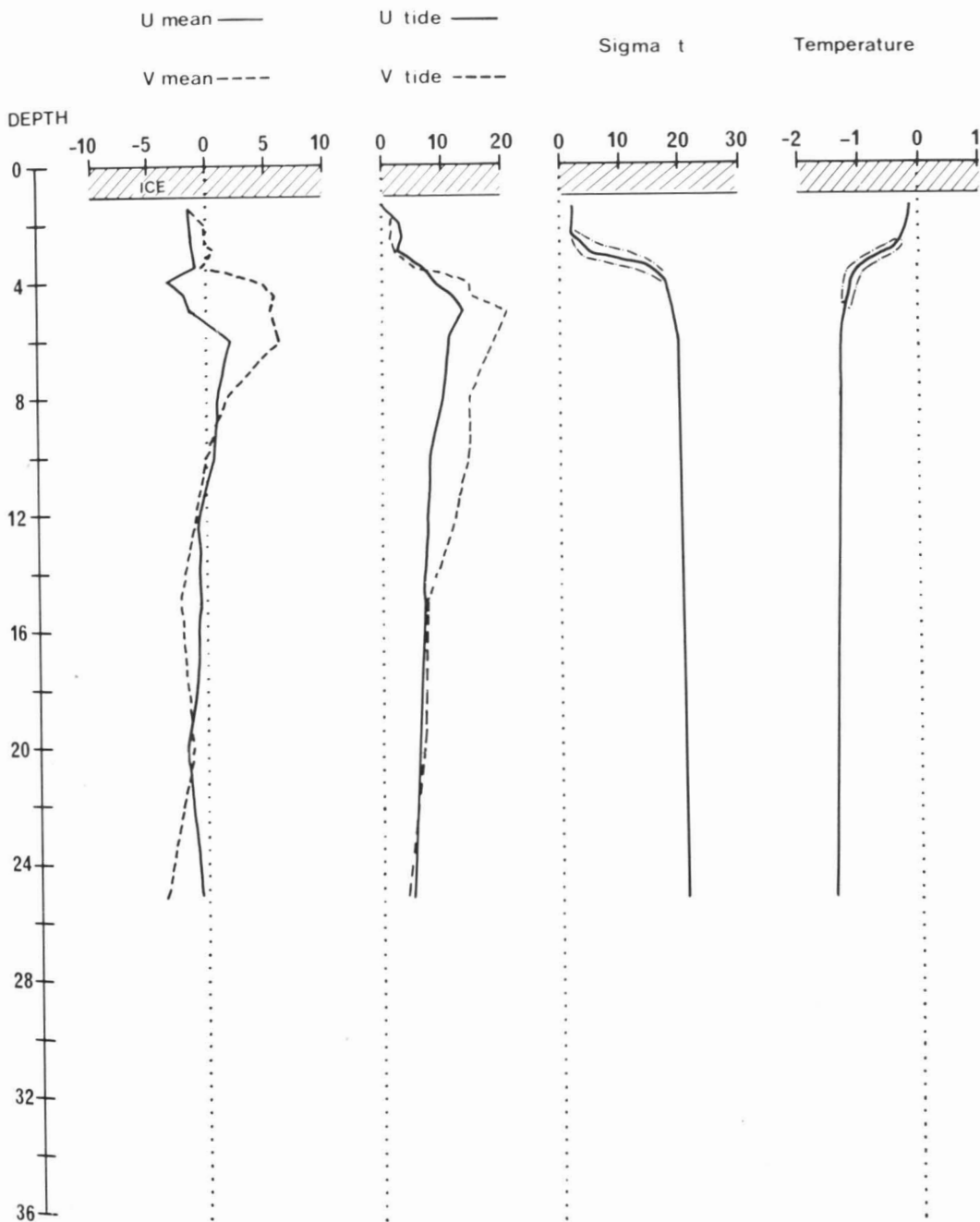


Figure 3. Typical vertical profile plot obtained by averaging the hourly Aanderaa profiler data at station 258 over a diurnal tidal period.  $U_{MEAN}$ ,  $V_{MEAN}$  ( $cm \cdot s^{-1}$ ), sigma-t, and temperature ( $^{\circ}C$ ) are 24.8-hour scalar averages, while  $U_{TIDE}$  and  $V_{TIDE}$  ( $cm \cdot s^{-1}$ ) are  $\sqrt{2}$  times the root mean square velocity deviations. U is toward the east and V is toward the north (true).

hydraulic control exists off the river mouth as pointed out by Stommel & Farmer (1953). The mean flow kinetic energy is less than  $25 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$  in all the regions below the plume except at station 243, where a slight increase in the local background flow is observed. Tidal kinetic energy within the plume at the river mouth is less than the mean flow kinetic energy and appears to modulate river discharge rather than contribute to plume mixing. Seaward of the river mouth the tidal energy within the plume dies off rapidly, with very little tidal energy penetrating the plume interface from below. In the basin, between stations 252 and 132, a substantial increase in tidal kinetic energy can be observed just below the plume; it is in this area that sub-pycnocline mixing, as can be seen in the salinity section of Figure 2, is initiated. However, in the vicinity of station 122 there is a substantial increase in tidal kinetic energy in the basin, which, together with reduced vertical stratification, con-

tributes to the almost complete vertical mixing of the water column observed at station 126 in Figure 2.

The potential for vertical mixing in a well-stratified water column can be quantified by the interfacial Froude number:

$$F_1 = \frac{V_{1,2}}{\left(g \frac{\Delta\rho}{\rho_x} \cdot \frac{h_1 h_2}{h}\right)^{1/2}}$$

where  $V_{1,2}$  is the relative root-mean-square current speed between the upper and lower layer;  $h_1$  and  $h_2$  are the upper and lower layer thicknesses;  $h$  is the total depth ( $h = h_1 + h_2$ );  $\Delta\rho$  is the top-to-bottom density difference;  $\rho_x$  is the bottom density in the far-field. As the kinetic energy increases or the stability of the water column decreases the potential for increased mixing is reflected in higher absolute values of interfacial Froude numbers. The sign in Figure 5, determined by the relative magnitude of the RMS current

TABLE I  
Current meter analysis

Stn. no.	Stn depth (m)	Avg sal (‰)	C.M. depth (m)	Mean		$M_2$				$\frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$	$\frac{S_2}{M_2}$	$\frac{N_2}{M_2}$
				Mean ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	INC <sup>1</sup> °	Major ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Minor <sup>3</sup> ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	INC <sup>2</sup> °	G <sup>4</sup> °			
260	7	0.0	2.5	48.5	173	18.6	-.2	172	153	.059	.34	.29
		0.0	3.5	49.2	194	18.8	-.4	193	135	.067	.34	.33
01A	16	20.0	3.0	5.3	103	19.8	-11.0	81	188	.076	.18	.14
		23.5	6.0	2.9	136	15.6	-8.1	83	206	.055	.23	.29
		24.0	10.0	1.9	79	9.7	-3.5	97	229	.139	.27	.34
238	19	18.0 to 4.0	2.0	5.3	140	3.5	-.7	157	140	.458	.43	.40
		20.0 to 18.0	3.0	2.8	159	20.0	-3.2	141	152	.171	.34	.26
		21.0	5.0	3.0	139	Time error						
		23.0	10.0	2.0	188	19.2	.5	177	147	.148	.33	.28
		23.5	15.0	3.9	68	20.0	.7	26	345	.126	.28	.26

<sup>1</sup> The angle of the mean flow measured in degrees counterclockwise from east (true).

<sup>2</sup> The inclination of the major axis of the tidal current ellipse in degrees counterclockwise from east (true).

<sup>3</sup> If the sign of the minor axis is negative, the current vector rotates clockwise.

<sup>4</sup> The Greenwich phase lag in degrees referred to GMT.

speeds in each layer, indicates the direction in which entrainment is likely to occur, with positive indicative of upward entrainment into the plume and negative downward into the basin.

Station values of interfacial Froude are given in the lower diagram of Figure 5. The first point to note is that all values are subcritical; that is, less than one, and thus jet-like turbulent entrainment is not expected to

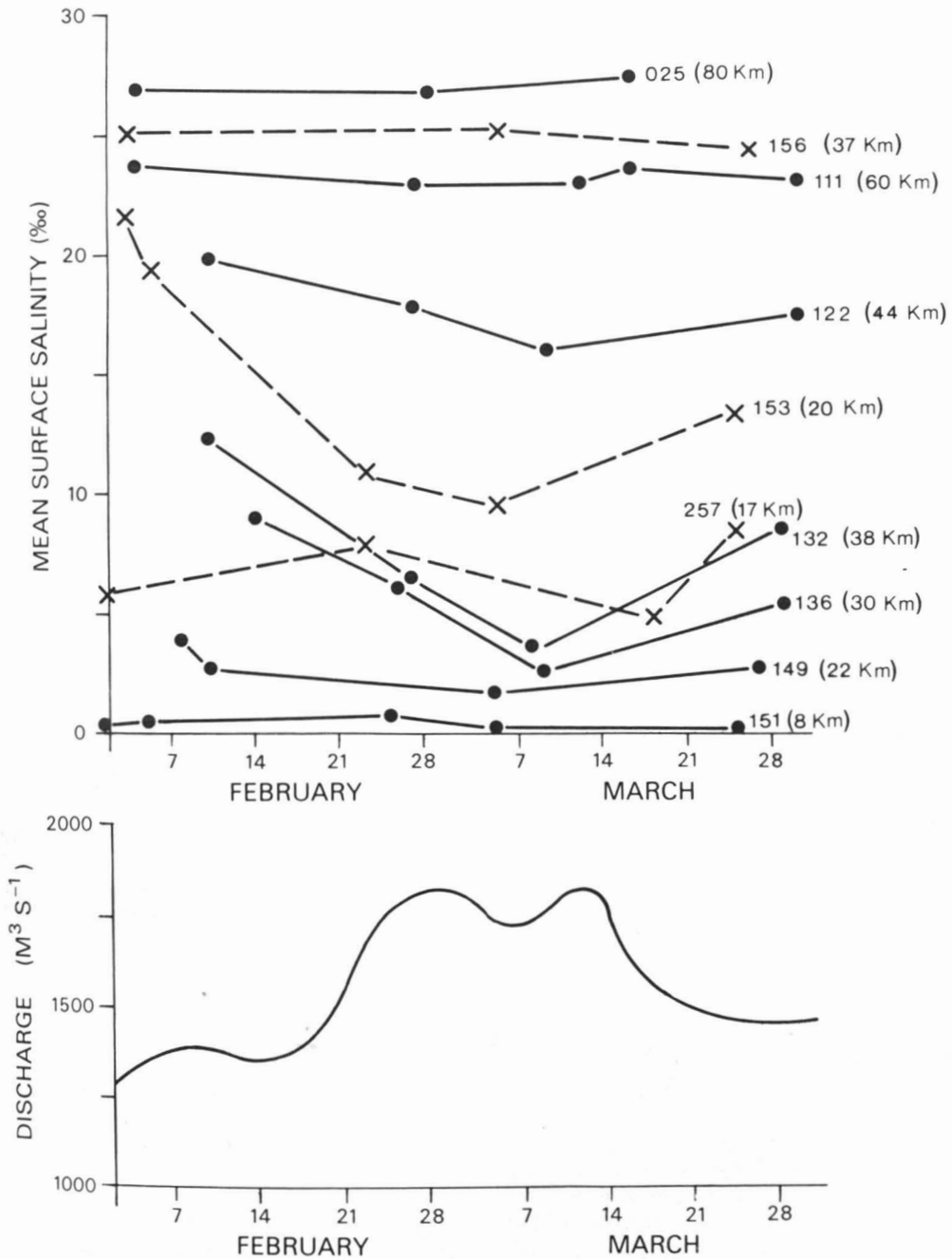


Figure 4. a) Temporal variation in mean surface salinity (‰) at selected stations along the plume (o—o) and across the plume (X—X). b) La Grande River hydrograph from daily turbine and evacuated discharge measurements of la Société d'Énergie de la Baie James.

occur even in the high flow area off the river mouth. While there is a reasonably large positive value in this region, it doesn't seem to correlate with a significant increase in salinity in the plume (Fig. 2). Thus, off the river mouth there must be a conversion of kinetic energy to potential energy (thinning of the plume) without significant dissipation through the production of turbulence at the relatively smooth ice surface. McClimans (1979) suggests that a phenomenon known as Bernoulli suction can lift the basin water without entraining it into the plume. For the next 25 km the interfacial Froude number is negative, with the absolute value gradually increasing to a maximum of 0.57 at station 132 in the frontal region of the plume (Fig. 2). It would appear that over this entire distance, downward entrainment (evacuation of surface water out of the plume) is taking place (note: water in the plume has only a twelve-day residence time). At the same time, some lateral or vertical diffusion must be occurring to account for the seaward increase in salinity in the plume. Northwestward of station 132, the sign of the interfacial Froude number changes to positive, suggesting the possibility of upward mixing. This region is indicative of the partially-mixed estuaries modelled by Hansen & Rattray (1965) in which turbulent mixing results primarily from tidal currents, and is largely uninhibited by vertical stratification.

### Chemical and biological characteristics

In order to investigate relationships between the physical processes and biochemical distributions, water samples were collected at twelve of the along plume and three of the cross plume stations. Two surveys were carried out; one in late February and the other in early March 1980. Only results from the more detailed second survey, in which samples were taken at five depths (2, 5, 10, 20, 30 m), are presented here. Six litre samples were collected from 23 cm diameter ice holes and open leads with specially built P.V.C. and polycarbonate Kemmerer bottles.

For each water sample the following variables were measured: total phosphorous (TP), total dissolved phosphorous (TDP), total dissolved Kjeldahl nitrogen (TDKN), reactive nitrate plus nitrite ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ), reactive silicate ( $\text{SiO}_2$ ), adenosine triphosphate (ATP), particulate organic carbon (POC), particulate organic nitrogen (PON),

chlorophyll *a* and phaeopigments. Nutrient and seston variables were determined by methods detailed in Pett (in press), following procedures in Strickland & Parsons (1972), Environment Canada (1974) and MacKinnon (1976). A.T.P. was converted to carbon equivalent (BIOC) by a conversion factor of 250:1 (Holm-Hansen, 1973). All filtrations used Whatman GF/C glass fibre filters.

Total and dissolved nutrients generally mirror salinity and temperature distributions (Figs. 2 and 6; Table II). The positive correlations with salinity indicate a predominantly marine source for nutrients at this time of year. Of the dissolved nutrients,  $\text{SiO}_2$  shows the greatest departure from a conservative distribution. The lowest values of  $\text{SiO}_2$  ( $\approx 8 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ ) are found in the river, while the highest values ( $\text{SiO}_2 > 20 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ ) are observed below or seaward of the plume, the maximum concentration of  $\text{SiO}_2$  ( $33.5 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ ) occurs in the vicinity of strong tidal mixing (stations 126 and 132), suggesting that resuspension of bottom sediments takes place in this shoaling area.

Seston values are negatively correlated to salinity (Table II) and show a clear decrease seaward within the plume (Fig. 7). A predominantly riverine source of particulate and biological carbon is thus indicated. Highest BIOC ( $\approx 5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) and POC ( $195 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) values are found near the river mouth, while background levels are less than  $2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  and  $50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  respectively. Once again a region of higher biological carbon can be observed in the vicinity of the intense tidal mixing (stations 132 and 126), suggesting bottom resuspension of detritus.

PON concentrations ( $< 2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) are very low during the second survey (March 6-12) with C:N ratios all exceeding 14:1. Also,  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  values and C:N ratios are higher in marine waters and in the plume than during the first survey (Feb. 19-26). River samples also show an increase in  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  values and C:N ratios between the two surveys (see Pett, in press). Thus there is evidence of nitrogen remineralization in both fresh and marine coastal waters at this time of year, with almost complete remineralization by the end of the second survey period. This is in marked contrast to conditions in the offshore sub-pycnocline waters of Hudson Bay, which are characterized by incomplete nitrification (Pett & Roff, 1982). Chlorophyll *a* concentrations in the river, plume, and marine waters are very low (Fig. 8), and differed little between the two survey periods.

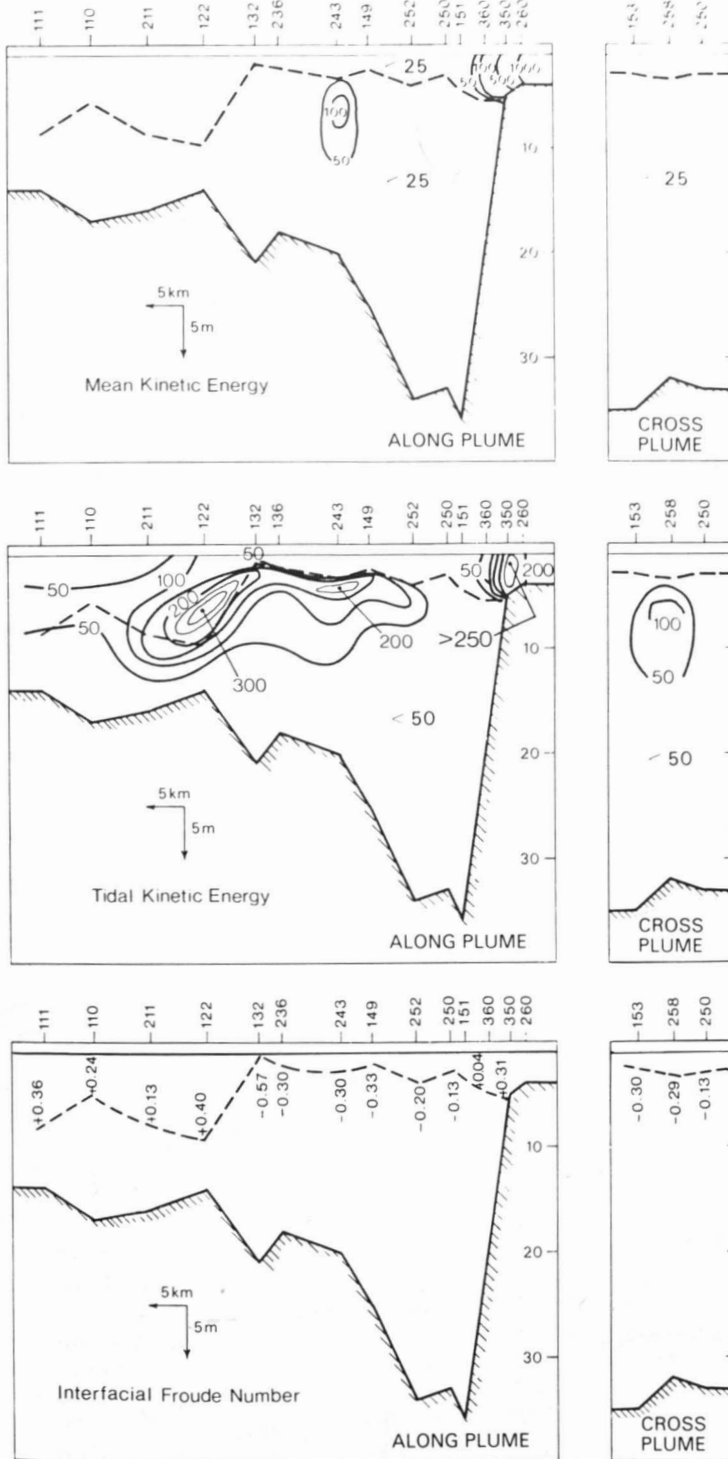


Figure 5. Contours of mean and tidal kinetic energy and interfacial Froude number along and across the major plume axes. Heavy dashed line delineates the pycnocline.

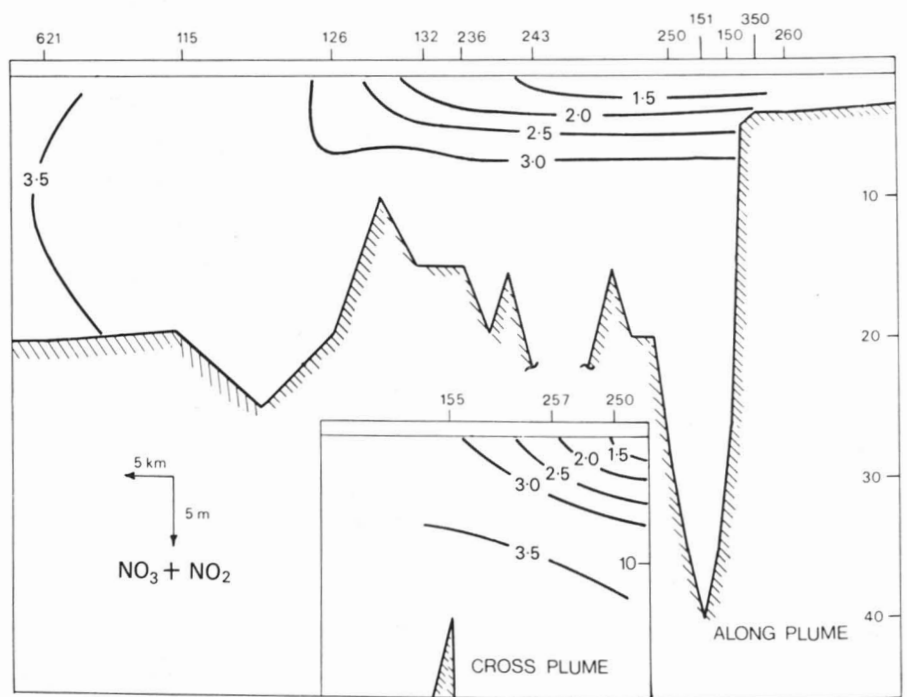
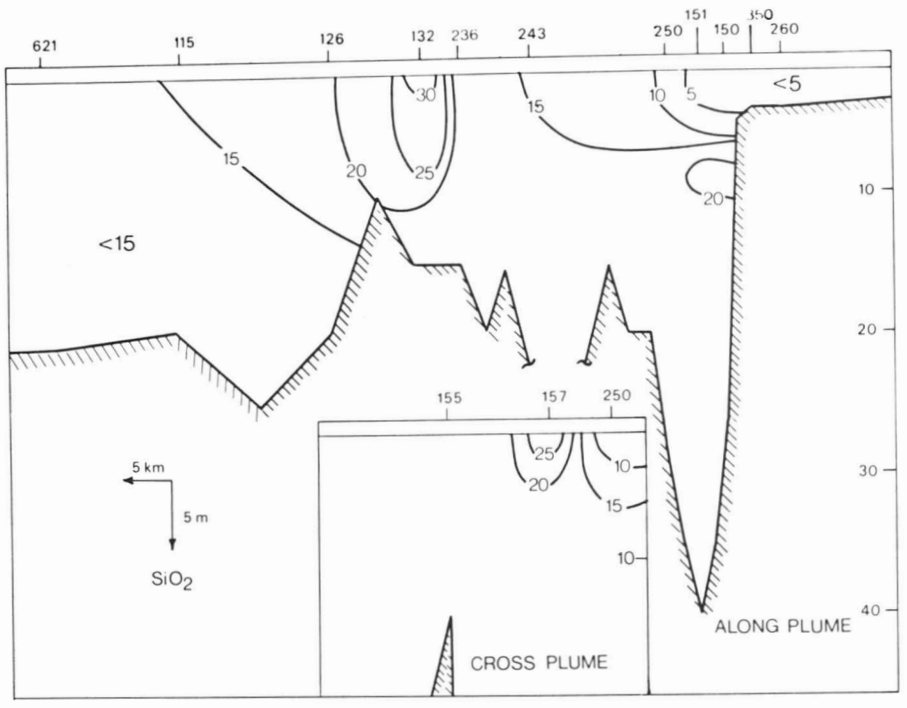


Figure 6. Reactive silicate ( $\text{SiO}_2$ ) and nitrate plus nitrite ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) distributions ( $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ ) along and across the major plume axes.

TABLE II  
Correlations (Pearson's *r*) between nutrient and seston variables

	<i>Phaeo</i>	<i>Chlor a</i>	<i>BIOC</i>	<i>POC</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub></i>	<i>TDKN</i>	<i>TDP</i>	<i>TP</i>
Salinity	-0.50	-0.53	-0.46	-0.77	0.39	0.96	0.64	0.90	0.86
TP	0.49	-0.53	-0.51	-0.63	0.41	0.84	0.70	0.92	
TDP	0.54	-0.57	-0.54	-0.71	0.36	0.85	0.69		
TDKN	NS	NS	-0.42	-0.46	NS	0.63			
<i>NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub></i>	0.55	-0.54	-0.41	-0.79	0.41				
<i>SiO<sub>2</sub></i>	NS	-0.63	NS	NS					
<i>POC</i>	NS	0.48	0.45						
<i>BIOC</i>	NS	0.66							
<i>Chlor a</i>	NS								

$P < 0.05$  for all values; NS = not significant.

Nutrient values reported off the La Grande estuary in March 1974 by Grainger & McSween (1976) are similar to those found during this survey. Nutrient concentrations in February-March 1980 range from 0.2 to 1.11 for TDP, 1.0-3.9 for  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  and 3.2-33.5 for  $\text{SiO}_2$  (all values in  $\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Mean values for these variables from Grainger & McSween (1976) are approximately 0.6, 2.5, and 15 respectively, very close to our mean values at similar salinities. Two points may be made from this pre- and post-project comparison: (1) Grainger & McSween (1976) stated that the La Grande River provides minimal nutrient contributions to James Bay and the winter data in this paper supports this view; (2) the increased winter discharge appears to have had little effect on nutrient concentrations in the bay.

Ice samples were taken in mid-March 1980 from the top 10 cm and bottom 20 cm of the ice cover at six stations along the plume axis. River and sea ice samples were thawed and analyzed for salinity, TP, TDP, TDKN,  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ , chlorophyll *a* and phaeopigments, using procedures described above. Snow samples taken at the La Grande River station and two plume stations (132 and 115) were also analyzed for nutrients.

Salinity in the ice increases offshore (Fig. 8), consistent with increasing brackish plume water. There appears to be a top-to-bottom salinity gradient within the ice; lower salinities are generally found at the bottom of the ice, much lower than in the underlying sea water — a consequence of the solute rejection during growth of the sea ice. The along plume distribution of nutrients (TDP,  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) is more variable than salinity, and a weak seaward gradient at the

bottom of the ice can be detected for  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ .  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  concentrations in surface ice are generally a factor of two or three greater than those in the water immediately below the ice layer. Levels of  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  in the snow cover are higher still (15-20  $\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$ ), indicating that melting ice and snow cover may be an important nutrient source to James and Hudson Bays at least temporarily during the spring phytoplankton bloom.

Perhaps the most important feature of the ice cover is the marked development of the ice flora. High chlorophyll *a* concentrations (to 10  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  and higher) are observed in a distinct 2 cm thick brown layer on the bottom of the ice at the three stations (126, 115, 621) where vertical mixing of the water column appears to be taking place. These concentrations are two to three orders of magnitude greater than found in underlying James Bay waters, the surface ice, or upstream in the river. There is no significant development of an ice flora in the plume area itself.

The distribution of phaeopigments parallels that of chlorophyll *a* with the highest value (4.3  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) in the brown ice layer and the lowest value inshore. High ratios of chlorophyll *a* to phaeopigments indicate that there is a reasonably healthy algal population growing under the ice seaward of the stabilizing river plume. This ice biota community is already well established by the end of February. High levels of POC (1  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) and PON (200  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) are also found in the bottom ice layer associated with high chlorophyll *a* levels. C:N ratios as low as 5.6:1 in these samples indicate an active uptake of labile nitrogen from ice or water.

The presence of a sea ice algal community in Arctic waters is now well documented



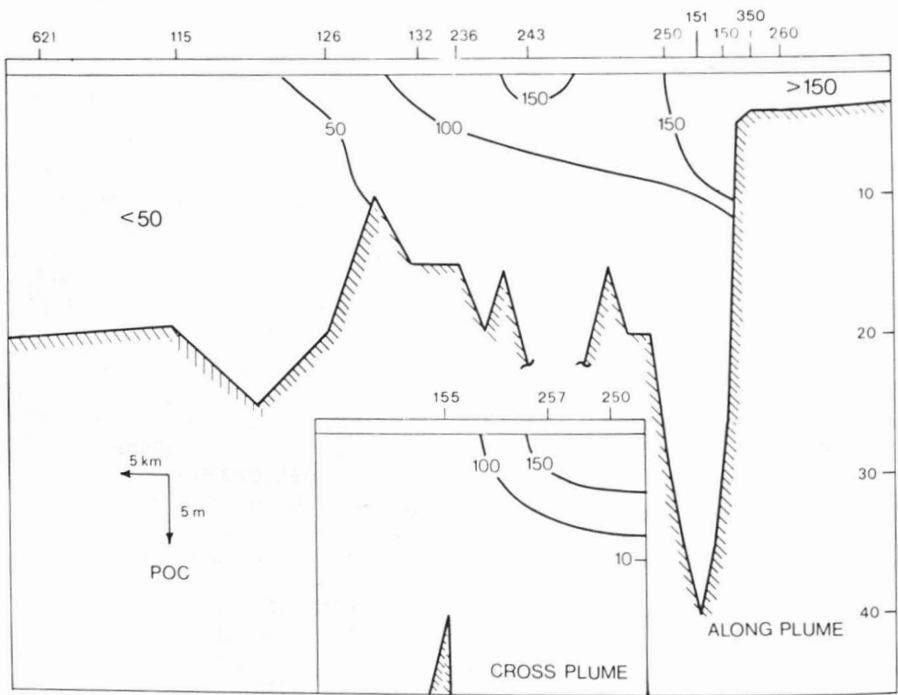
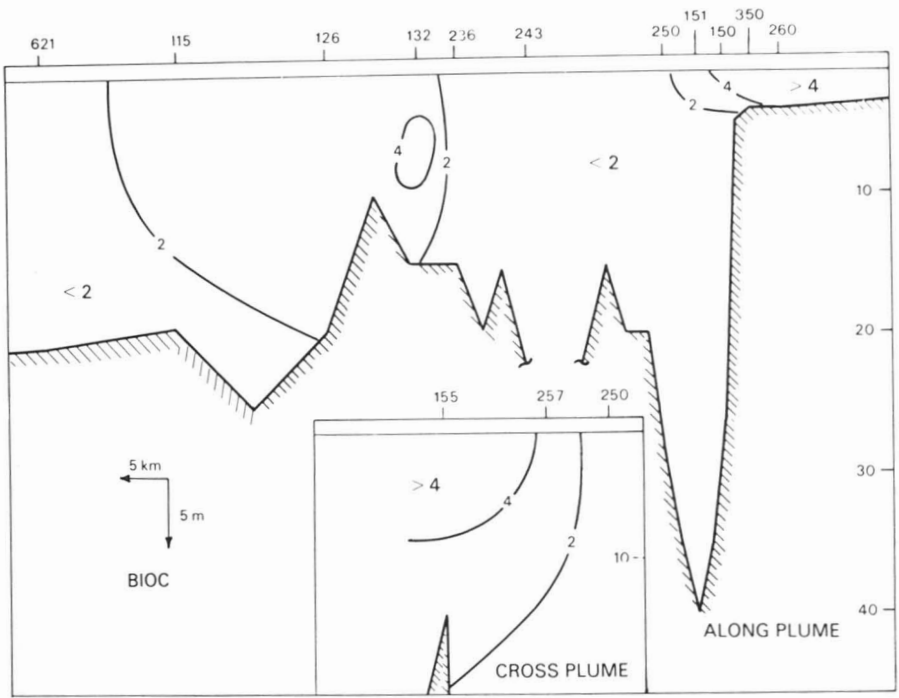


Figure 7. Biocarbon (BIOC = ATP  $\times$  250) and particulate organic carbon (POC) distributions ( $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) along and across the major plume axes.

(Hsiao, 1980). Observations from Hudson Bay (Dunbar & Acreman, 1980) and James Bay (Roff & Gerrath, 1979, unpublished data) show that it is a widespread and well developed feature of these bays. Unfortunately there are few estimates of the seasonal production of this ice biota. The estimates of Grainger (1979) and Alexander (1974), that the ice biota may contribute 10% of the annual primary production, are probably conservative. Clearly this important community and its relation to freshwater plumes requires closer study.

The flora and fauna of the La Grande plume and ice layers have not yet been examined in detail; however, very different algal communities are found in the surface and bottom ice layers (Hsiao, 1980), the plume, and in the surrounding marine waters. The plume

itself contains several freshwater species and undoubtedly acts as a dissemination mechanism as suggested by Gerrath *et al.*, (1980) and Barber & Murty (1977). Also, it would appear that the river plume acts to limit the supply of nutrients to the surface layer, thus restricting growth of algal communities under the ice to regions seaward of its stabilizing influence.

**Comparison of the plumes from the La Grande and Great Whale rivers**

Thus far correlations of the biological and physical features of a single plume under one set of mixing conditions have been examined — the La Grande 1980 plume (discharge  $\approx 1,600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , kinetic energy  $\approx 300 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ). CTD observations taken in 1976 off

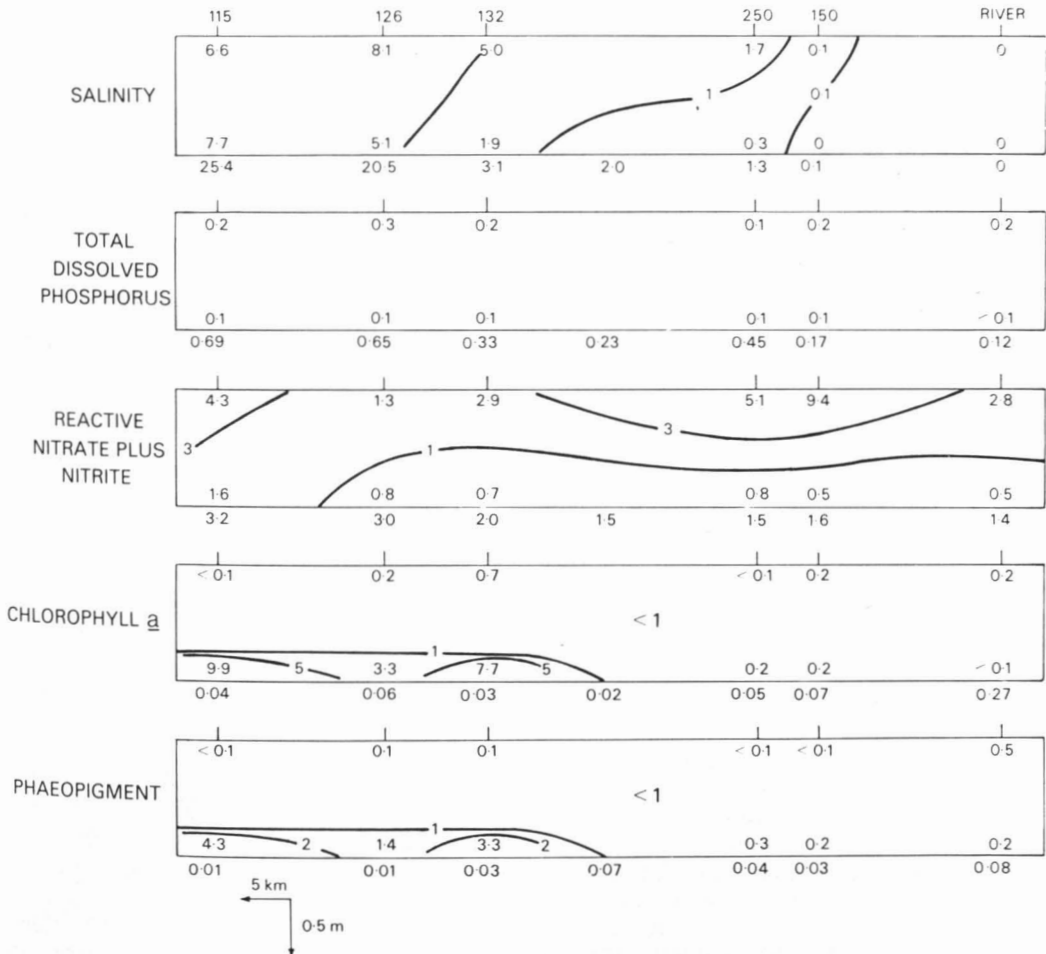


Figure 8. Salinity ( $\%$ ), TDP ( $\mu\text{g} \cdot \text{at} \cdot \text{l}^{-1}$ ),  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{at} \cdot \text{l}^{-1}$ ), chlorophyll a ( $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ), phaeopigment ( $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) distributions in the ice cover of the La Grande River and James Bay during mid-March 1980.

La Grande enable the study of mixing under a much-reduced discharge (discharge  $\approx 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) but similar tidal mixing regime (kinetic energy  $\approx 300 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Additional CTD and current profile observations made off Great Whale in 1979 permitted the effects of a further-reduced discharge (discharge  $\approx 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) and an order of magnitude lower tidal energy (kinetic energy  $\approx 25 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ) to be studied. Because vertical profiles of currents are not available for the 1976 survey, the twenty-five-hour data collected in 1980 at the same 1976 CTD stations are used for the RMS velocity calculations. This is possible since the river plume is basically in isostatic equilibrium (Garvine, 1974) and will not substantially affect tidal flow velocities and basin-wide circulation.

Mean surface salinity contours and pycnocline depths are plotted at the same scale in Figure 9 for ease of comparison of the three plume configurations. The shape of the Great Whale plume differs considerably from the La Grande plume due to the fact that the prevailing background flow (alongshore to the south) is counter to the geostrophically balanced flow in the plume (alongshore to the north). As a result, the northern portion of the plume is deflected offshore while the southern section is seen to hug the shoreline. The general steepening of the density front in the north and elongation in the south is a result of the interfacial shear stress caused by the southerly underlying flow. The concavity in the surface contours of the Great Whale plume may also be related to increased vertical mixing over shoals (20 m deep) located approximately 10 km off the river mouth. For the La Grande plume, the prevailing background flow is alongshore to the north (see mean flow inclinations given in Table I). Since the geostrophically-balanced plume flow and the underlying coastal current are in the same direction, the La Grande plume stays close to the coast and is dragged northward by the underlying flow.

As can be seen in the top diagram in Figure 9 the pycnocline minimum (1 m depth) for the Great Whale River plume coincides with the 25‰ surface salinity contour. For the 1976 and 1980 La Grande plumes the pycnocline minimum lies along the 5‰ and 15‰ salinity contours, respectively. The pycnocline minimum as seen in Figure 5 appears to separate the downward entrainment region from the seaward tidal mixing region. The bottom salinity in

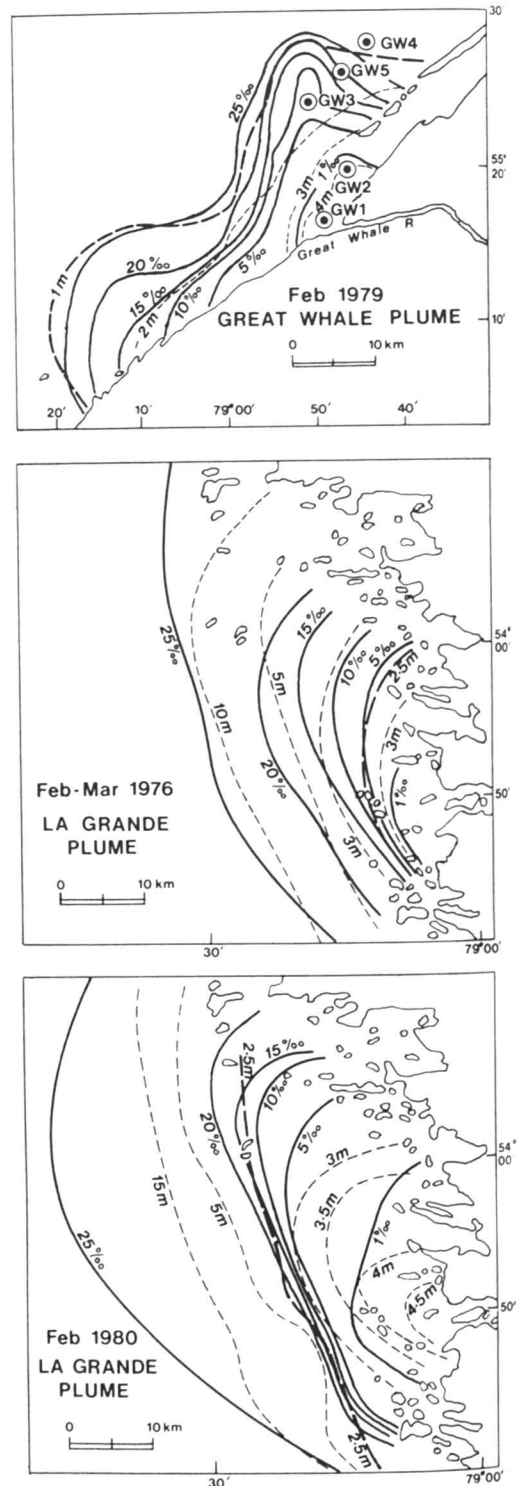


Figure 9. Surface salinity (‰) and pycnocline depth (m) contours plotted to the same scale for three different plume configurations, (note: Ⓞ Great Whale twenty-five-hour current stations).

winter at the mouth of James Bay and in the deep water off the Great Whale River, Hudson Bay is about 30‰, and it is this value that is used as the base salinity in the freshwater content estimates. For ease of discussion the region contained within the pycnocline minimum is designated *surface plume*, and the region between the pycnocline minimum and the 25‰ surface salinity contour is called the *well-mixed plume*.

In comparing the two La Grande plumes, it can be seen that increased discharge moves the frontal regions further offshore as well as generally increasing the thickness of the plume. The minimum pycnocline depth ( $h_{\min} \approx 2.5$  m), also shifts offshore with increased discharge. It is interesting to note that under a low tidal energy regime (Great Whale, 1979) and even in spite of low discharge, the area of the surface plume is much larger than in the high tidal energy regime (La Grande, 1976, 1980). When the discharge is increased under similar tidal energy conditions (comparing La Grande 1976 and 1980) the area of the surface plume is increased and the location of vertical mixing is shifted seaward; these effects were also found by Festa & Hansen (1976) in their two-dimensional numerical model of estuarine circulation.

Table III gives the freshwater content estimates relative to a base salinity of 30‰ computed by planimetry of the areas within salinity contours, and multiplying by the average salinity deficits and pycnocline

depths. Residence times were then computed by dividing these freshwater content estimates by the river discharge. For the La Grande 1980 plume (March 1-9) an independent check on freshwater content estimates was made by vertically integrating the freshwater deficit profiles at each of the CTD stations and then integrating these values horizontally. The values obtained in this manner agree within 10% of the more approximate method used for the plume intercomparisons. Two computations were made for each plume, the residence time in the surface plume ( $\Delta t_{h_{\min}}$ ) and in the well-mixed plume ( $\Delta t_{25\%}$ ). River water appears to reside longer in the Great Whale surface plume ( $h_{\min} \approx 1$  m) than in either of the La Grande surface plumes, due principally to the low ambient tidal mixing. It is interesting to note that the residence time estimates for the 1976 and 1980 La Grande plumes are of similar magnitudes even though the discharge for the two years varies by more than three times. This would suggest that, because of the similar tidal and topographic conditions off La Grande, the volume of freshwater contained within the plume varies directly with the level of the river discharge (the buoyancy input).

To examine further the mixing processes in river plumes a number of dimensionless parameters were computed following Fisher's (1972) approach to vertical mixing in a river estuary. The three dimensionless parameters are estuarine Richardson number, plume densimetric Froude number and non-

TABLE III  
Freshwater content above pycnocline (relative to base salinity of 30‰)

	Dates	$Q$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	FW $h_{\min}$ ( $m^3$ )	FW 25‰ ( $m^3$ )	$\Delta t$ $h_{\min}$ (days)	$\Delta t$ 25‰ (days)
Great Whale — 1979	Feb. 8-18	200	$422 \times 10^6$	$422 \times 10^6$	24.4	24.4
La Grande — 1976	Feb. 27 to Mar. 3	450	$355 \times 10^6$	$1,652 \times 10^6$	9.13	42.5
La Grande — 1980	Feb. 3-10	1,400	$1,342 \times 10^6$	$4,486 \times 10^6$	11.1	37.1
	March 1-9	1,800	$1,866 \times 10^6$	$5,454 \times 10^6$	11.9	35.1
	March 15-30	1,500	$1,711 \times 10^6$	$4,798 \times 10^6$	13.2	37.0

dimensionalized friction velocity, defined respectively as follows:

$$Ri_E = \frac{g\Delta\rho/\rho_x Q_0/\bar{b}}{V_2^3}$$

$$F_p = \frac{V_1}{(g\Delta\rho/\rho_x h_1)^{1/2}}$$

$$u' = V_{1,2}/u^*$$

where  $g$  is the gravitational acceleration;  $\Delta\rho$  is top-to-bottom density difference;  $\rho_x$  is background density taken as 1.020;  $Q_0$  is river discharge;  $\bar{b}$  is the mean width of the plume;  $V_1$  and  $V_2$  are the root mean square current speeds in the upper and lower layers respectively;  $h_1$  is the plume thickness; and  $u^*$  is the local friction velocity.

Since the velocity profiles are not sufficiently detailed near the under-ice or bottom boundaries to compute  $u^*$ , the results of the dimensionless analysis are only applicable to other ice-covered locations with similar ice and bottom roughness. Also, in order to apply the analysis to the horizontally two-dimensional plumes a width scale had to be found ( $\bar{b}$ ) to replace the estuarine width. Since  $Q_0/\bar{b}$  from Fischer (1972) represents the buoyancy flux per unit width, division by the layer thickness ( $h_1$ ) gives a measure of the local freshwater discharge velocity. Then for the river plume a similar estimate of the local freshwater discharge velocity can be obtained by dividing by the average width of the plume and the mean layer thickness. The mean plume width  $\bar{b}$  was obtained by averaging the distances normal to the shoreline out to the frontal region. A single value is used for each of the three plume configurations and any errors in the estimate of  $\bar{b}$  only shift the estuarine Richardson number by a few percent.

The first dimensionless number is plotted against the Hansen & Rattray (1966) inverse mixing parameter  $\Delta s/\bar{s}$  in Figure 10, where  $\Delta s$  is the top-to-bottom salinity difference and  $\bar{s}$  is the mean salinity of the water column. It should be noted that mixing decreases as  $\Delta s/\bar{s}$  increases. In the main figure, data for the three plume discharge conditions fall on, or close to, two asymptotic lines. Looking at the diagram from right to left (seaward), the shallow initial slope of the first line suggests that mixing is only weakly dependent upon estuarine Richardson number, and that once a critical value is reached (around 1.0) a significantly increased dependence occurs. Measuring

slopes from the diagram results in the following mixing relationships:

$$Ri_E < 1.0 \quad \frac{\bar{s}}{\Delta s} = 1.33 Ri_E^{-1/4}$$

$$Ri_E < 1.0 \quad \frac{\bar{s}}{\Delta s} = 3.23 Ri_E^{-3/4}$$

The first relationship, which basically applies to the surface plume, represents a slow entrainment across a well-stratified salt wedge type interface; the second relationship applies generally to the offshore region of the plume, where large tidal currents and shoaling bottom topography contribute to a more turbulent two-way exchange of salt, typical of partially-mixed estuaries. Ippen (1966) found a similar relationship for the correlation of the diffusivity coefficient under stratified and neutral conditions with the local stratification parameter for mixing experiments in a two-layer channel flow ( $\propto Ri_E^{-3/4}$ ). Kato & Phillips (1969) obtained a slightly larger power for the Richardson number dependence on the entrainment in a turbulent layer of a stratified fluid ( $E = 2.5 Ri^{-1}$ ).

In the insert of Figure 10 the plume densimetric Froude number is plotted against a more sensitive indicator of plume mixing at low salinities, the surface salinity. As can be seen, no correlation appears to exist. Within the first 5 km of the river mouth, the region where the plume Froude number is largest in 1980, the surface salinity is less than 0.1‰. This would suggest that even though the plume Froude number just off the river mouth is reasonably high (but still subcritical) there is not sufficient surface roughness on the underside of the ice or at the plume interface to generate the turbulence needed to mix the underlying salt water into the plume. Fischer (1972) also was unable to find any systematic dependency of the mixing coefficient on the freshwater discharge densimetric Froude number.

## Conclusion

The spreading and mixing of river plumes under a solid to close-packed ice cover in James and Hudson Bays appears to involve three different dynamical regions as the surface water moves progressively further away from the river mouth. Within the first 5-10 km (stns. 260-250), a large horizontal divergence of the river flow takes place, accompanied by a substantial reduction in average flow velocities within the plume, as

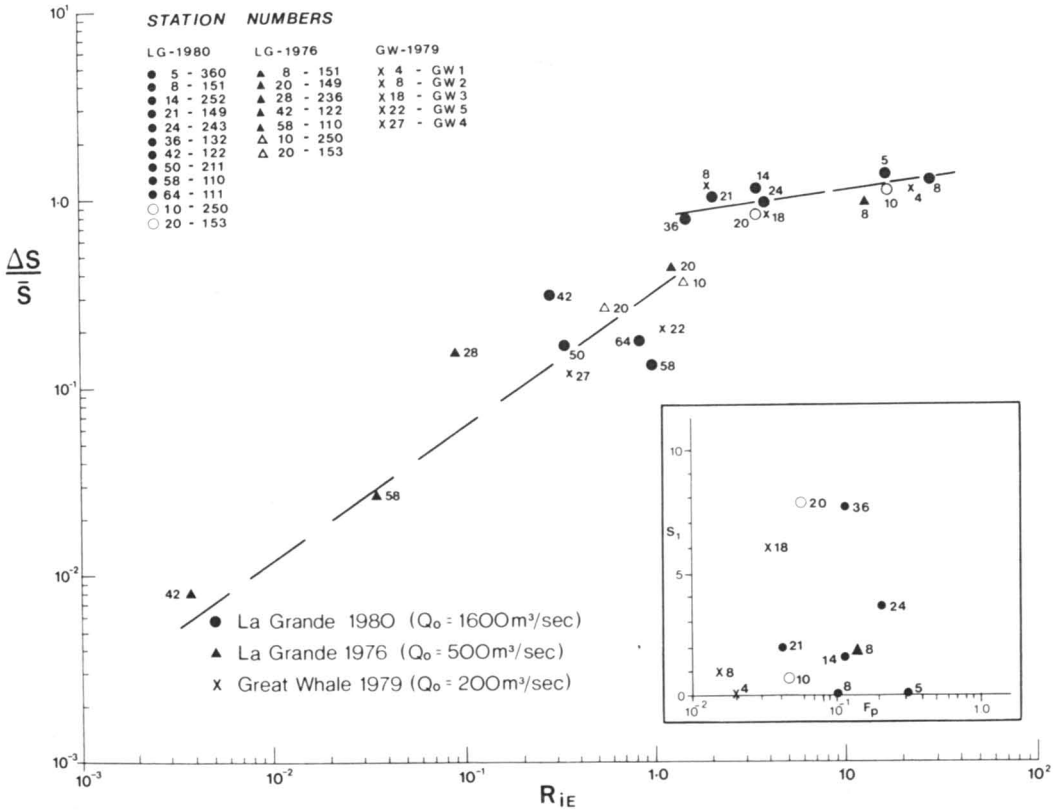


Figure 10. Inverse mixing parameter versus estuarine Richardson number. The insert shows surface salinity plotted against the plume densimetric Froude number. The numbers attached to the symbols indicate distance in km measured from the river mouth. The solid symbols represent stations on the along plume axis and open symbols stations on the cross plume axis.

well as a significant thinning of the interface. This internal hydraulic adjustment seems to occur without significant diffusion or entrainment of salt into the plume. For the next 25-30 km (stns. 252-132) downward entrainment, associated with an increase in tidal kinetic energy just under the plume and reflected in a growing negative interfacial Froude number, seems to evacuate water from the surface plume as the upper layer continues to thin out. While there appears to be a net mass flux of brackish water out of the plume, there must be a slow diffusion of salt into the plume, as is indicated by the minus one-sixth power dependence of mixing parameter on estuarine Richardson number. At the seaward end of this region, a frontal area exists where horizontal gradients in salinity are a maximum and where the interfacial Froude number indicates a greater potential for downward mixing than over the rest of the region. Seaward of the plume front, tidal

currents substantially increase, primarily due to shoaling bathymetry, and vertical mixing of the water column appears to take place. In this third region, the mixing rate is substantially increased with a minus three-quarters power dependence on estuarine Richardson number.

It is only in this latter well-mixed region that a large increase in dissolved labile nutrients is observed in the water column. Concentrations are higher near the under surface of the ice, where an ice flora community is well established by the end of February. In addition, the bio-chemical analyses support the view of an earlier study by Grainger & McSween (1976), that the La Grande River provides minimal nutrient contributions to James Bay at least in the winter time, and that increased discharge is likely to have little effect on nutrient supply to the bay. However, insofar as the areal extent of the surface plume seems to be

strongly dependent on discharge rates as determined by freshwater content estimates, then it is expected that the post-project surface plume will be larger in area. This in turn will limit nutrient supply to the surface layer for a larger area of northeastern James Bay. This effect may be minimized somewhat in the northwest direction by the strong tidal mixing related to shoaling bottom topography.

### Acknowledgments

The authors would like to thank S.J. Prinsenberg and E.B. Bennett for their helpful comments on the manuscript, and to acknowledge the financial assistance of the Natural Sciences and Engineering Research Council and Fisheries and Oceans subvention program.

### References

- ALEXANDER, V., 1974. Primary productivity regions of the nearshore Beaufort Sea, with reference to the potential role of ice biota. — Pages 609-632 in J.C. Reed & J.E. Sater (eds.). *The coast and shelf of the Beaufort Sea*. Arctic Institute of North America, Arlington, Virginia, 750 p.
- BARBER, F.G. & T.S. MURTY, 1977. Perennial sea ice: speculations concerning physical and biological consequences. — Pages 257-268 in M.J. Dunbar (ed.). *Polar oceans (Proceedings of the polar oceans conference)*. McGill Univ., Montréal, May 1974, 682 p.
- BROOKS, D.J., 1980. James Bay/La Grande winter oceanographic survey 1980 field report. — Department of Fisheries and Oceans, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario, 74 p.
- DUNBAR, M.J. & J.C. ACREMAN, 1980. Standing crops and species composition of diatoms in sea ice from Robeson Channel to the Gulf of St. Lawrence. — *Ophelia*, 19: 61-72.
- ENVIRONMENT CANADA, 1974. Analytical methods manual. — Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Environment Canada, Ottawa, 148 p.
- FESTA, J.F. & D.V. HANSEN, 1976. A two-dimensional numerical model of estuarine circulation: the effects of altering depth and river discharge. — *Estuar. coastal mar. Sci.*, 4: 309-323.
- FISCHER, H.B., 1972. Mass transport mechanisms in partially stratified estuaries. — *J. Fluid Mech.*, 53: 671-687.
- GARVINE, R.W., 1974. Dynamics of small-scale oceanic fronts. — *J. phys. Oceanogr.*, 4: 557-569.
- GERRATH, J., J.C. ROFF & J.T. ANDERSON, 1980. Phytoplankton of freshwater origins in Hudson Bay. — *Nova Hedwigia*, 32: 167-183.
- GRAINGER, E.H., 1979. Primary production in Frobisher Bay, Arctic Canada. — Pages 9-30 in M.J. Dunbar (ed.). *Marine production mechanisms*. Cambridge University Press, International Biological Programme, 20, 338 p.
- GRAINGER, E.H. & S. MCSWEEN, 1976. Marine zooplankton and some physical-chemical features of James Bay related to La Grande hydro-electric development. — *Fish. Mar. Serv., Tech. Rep. no. 650*, 94 p.
- HANSEN, D.V. & M. RATTRAY Jr., 1965. Gravitational circulation in straits and estuaries. — *J. mar. Res.*, 23: 104-122.
- HARLEMAN, D.R.F., 1966. Diffusion processes in stratified flow. — Pages 565-597 in A.T. Ippen (ed.). *Estuary and coastline hydrodynamics*. McGraw-Hill Book Company, 747 p.
- HOLM-HANSEN, O., 1973. Determination of total microbial biomass by measurement of adenosine triphosphate. — Pages 73-89 in L.H. Stevenson & R.R. Colwell (eds.). *Estuarine microbial ecology*. Univ. South Carolina Press, Columbia, S.C., 536 p.
- HSIAO, S.I.C., 1980. Quantitative composition, distribution, community structure and standing stock of sea ice microalgae in the Canadian Arctic. — *Arctic*, 33: 768-793.
- IPPEN, A.T. (ed.), 1966. *Estuary and coastline hydrodynamics*. — McGraw-Hill Book Company, New York, 747 p.
- KATO, H. & O.M. PHILLIPS, 1969. On the penetration of a turbulent layer into a stratified fluid. — *J. Fluid Mech.*, 37: 643-655.
- MACKINNON, M.L., 1976. Measurement of adenosine triphosphate (ATP) in freshwaters. — Unpublished report, Canada Centre for Inland Waters, Environment Canada, Burlington, 13 p.
- McCLIMANS, T.A., 1979. On the energetics of river plume entrainment. — *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics*, 13: 67-81.
- PECK, G.S., 1976. Winter and nearshore oceanography of James Bay. — Pages 115-145 in *Proceedings of the James Bay Environmental Symposium*. Sponsored by the Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, Québec, 883 p.
- PETT, R.J. (in press). Biological oceanographic data report: La Grande River plume, winter 1980. Volume 1. Nutrients and seston. — Dept. of Fisheries and Oceans, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario, 59 p.
- PETT, R.J. & J.C. ROFF, 1982. Some observations and deductions concerning the deep waters of Hudson Bay. — *Naturaliste can.*, 109: 767-774.
- STOMMEL, H. & H.G. FARMER, 1953. Abrupt change in width in two-layer open channel flow. — *J. mar. Res.*, 11: 205-214.
- STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS, 1972. A practical handbook of seawater analysis. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, no. 167, 310 p.

Écologie marine  
*Marine ecology*





## SOME OBSERVATIONS AND DEDUCTIONS CONCERNING THE DEEP WATERS OF HUDSON BAY

R.J. PETT

*Arctic Laboratories  
P.O. Box 2630, Inuvik  
N.W.T. X0E 0T0*

and

J.C. ROFF

*Department of Zoology  
College of Biological Science  
University of Guelph  
Guelph, Ontario N1G 2W1*

### Résumé

La baie d'Hudson ressemble à un immense bassin estuarien, les eaux moins salées coulant à la surface et les eaux plus denses se déplaçant en profondeur. Les propriétés biologiques et chimiques en ont été peu étudiées. À l'aide de données anciennes et récentes, on démontre que ces eaux profondes sont de nature arctique, ont une circulation cyclonique, se renouvellent au rythme de 4 à 14 ans et présentent une régénération lente et incomplète des éléments nutritifs.

En partant des données d'oxygène dissous des campagnes de 1961, 1976 et 1978, les calculs d'utilisation apparente de l'oxygène (AOU) démontrent la lenteur du renouvellement de la couche profonde, car environ  $100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  (la production primaire d'une année) sont catabolisés sous la pycnocline. Les relations entre les éléments nutritifs et l'AOU indiquent que si tout l'azote était transformé en nitrates, les concentrations en nitrates de ces eaux profondes de la Baie seraient semblables à celles des eaux de l'Atlantique. À chaque station, les nitrates pré-calculés ont dépassé de trois à quatre fois les valeurs réelles mesurées. Étant donné que la nitrification se produit en hiver le long de la côte de la baie James, la taille de l'inoculum initial semble être plus important que les basses températures pour le processus de nitrification dans les eaux du large de la baie d'Hudson.

Pour l'ensemble du système baie James/baie d'Hudson, des calculs préliminaires montrent que les contributions en nitrates et en azote total des eaux profondes et des débits fluviaux sont à peu près égaux, alors que les retombées atmosphériques ne représentent que 10% du total.

### Abstract

Hudson Bay is generally believed to behave as a huge estuarine basin with fresher, less dense water flowing out at the surface and denser water moving in at depth. While surface waters have received some recent attention, comparatively little attention has been directed to the chemically and biologically important sub-pycnocline layer. Using both older and recent oceanographic data, we show that: the deep waters are arctic in type, circulate cyclonically, turnover approximately every 4-14 years, and are characterized by slow or incomplete regeneration of nutrients.

Dissolved oxygen data from 1961, 1976 and 1978 cruises to the bay were used extensively in this analysis. Apparent oxygen utilization (AOU) calculations clearly demonstrated the long turnover time for the deep water layer, since approximately  $100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  (representing  $\geq$  one year's primary production) has been catabolized below the pycnocline. Nutrient-AOU relationships also indicated that if

all nitrogen were converted to nitrate by oxidative processes, then deep Hudson Bay nitrate concentrations would approach values reported for Atlantic Ocean waters. At all stations examined, the expected nitrate concentrations exceeded measured by a factor of 3 or 4 times. The initial inoculum size appears to be more important than low temperatures to nitrification reactions in offshore Hudson Bay waters, since nitrification occurs in winter in the neritic James Bay environment.

Preliminary budget calculations for the whole Hudson-James Bay system indicate that nitrate and total nitrogen contributions from deep water mixing and land runoff are of the same order of magnitude, while atmospheric inputs amount to only 10% of the total.

### Introduction

Over the past 50 years several oceanographers have speculated about the oceanography of Hudson Bay. This bay behaves as a huge estuarine basin, with fresher, less dense water flowing out at the surface and denser water moving in at depth.

While the physical and biological oceanography of surface waters has received some recent attention (Prinsenberg, 1980; Anderson & Roff, 1980) comparatively little is known about the deep waters of Hudson Bay. Considering that 80% or more of the entire volume of Hudson Bay lies below the pycnocline (at 20-30 m), this is unfortunate.

The intent of our paper is to provide some new perspectives on deep water (below ~ 50 m) sources, circulation patterns, turnover rates, and nutrient-oxygen relationships in Hudson Bay, and to examine their biological implications. Our approach includes a review and re-appraisal of existing oceanographic data, and an analysis of recent data from cruises to Hudson Bay in 1975, 1976 and 1978.

### Source of Hudson Bay deep waters

Hachey (1931) presented the results of the first truly scientific oceanographic exploration into Hudson Bay, and noted that "the waters of Hudson Bay differ markedly (in salinity) from waters in Hudson Strait and open ocean". From the low temperatures and salinities, Hachey (1931) inferred an Arctic Ocean source for incoming Hudson Bay deep waters. Results of the 1948 Haida cruise (Bailey & Hachey, 1951) further indicated the polar origin of deep Hudson Bay waters. In this, and succeeding discussion we have used the water mass classification of Bailey (1957), Dunbar (1951), and Coachman & Aagard (1974).

Dunbar (1958) reported negligible Atlantic influence in Hudson Bay by examining T-S data plots. Grainger's (1963) observations of

*Calanus glacialis* as the virtually exclusive *Calanus* spp. throughout Hudson Bay (with the exception of a few *C. finmarchicus*) in the extreme north-east), substantiated the contention of negligible direct input of Atlantic water to Hudson Bay.

Barber (1967) concluded that deep Hudson Bay waters were a product of: cold surface Arctic Ocean waters entering Hudson Strait from the west (via Fury and Hecla Strait — Foxe Basin); from the east (via a westward flowing extension of the Baffin current); and warmer, more saline Atlantic waters entering Hudson Strait at depth. Intense tidal mixing in Hudson Strait in both summer and winter was believed to be the main driving force of the system. Barber (1972) also stated "the coupling of the system to the Atlantic through estuarine circulation is limited by mixing in Hudson Strait". The relative contributions of the three sources have not been determined, however Barber (1968), and Sadler *et al.* (1979) have estimated that the contribution from Foxe Basin is an order of magnitude lower than that incoming from Hudson Strait.

Recent data from Hudson Bay (Narwhal, 1975; Petrel, 1976, 1978) have all yielded the same deep water T-S relationships as previously observed. Waters below 50 m are characterized by temperatures between 0 and -1.8°C and salinities of 30 to 33.7‰. Although warmer, fresher waters are prevalent near the James Bay-Belcher Islands area, all bottom water points fall within the Arctic polar waters T-S polygon described by Dunbar (1951).

Nutrient concentrations in Hudson Bay further support the belief of a non-Atlantic source for deep waters. Reactive nitrate plus nitrite, soluble reactive phosphorus, and reactive silicate are very similar to levels in other arctic areas, but are distinctly different from Atlantic Ocean waters (Grainger & Lovrity, 1975; Pett 1981; A.R. Coote, pers. comm.; Y. Simard, pers. comm.).

**Circulation of Hudson Bay deep waters**

The cyclonic surface circulation in Hudson Bay was first described by Hachey (1931, 1935), when he also expressed the opinion that the waters below 50 metres were "dynamically dead" probably varying little from season to season. Results of the 1961 Theta cruise however showed that nowhere in Hudson Bay did oxygen concentrations indicate "stagnation" (Anonymous, 1964a, 1964b, tables). Oxygen saturations reached a minimum of 34% with most observations greater than 60%, profiles showed no distinct maxima or minima with oxygen concentrations appearing to be largely a function of depth. Although no measurements of deep water circulation in Hudson Bay have been reported, Barber (1967, 1968), from an examination of the Theta cruise data, concluded that deep waters of the bay also circulate cyclonically.

We have re-examined the 1961 Theta data (Anonymous, 1964a, 1964b), recalculated oxygen percent saturation using the relationships of Weiss (1970), and derived AOU (apparent oxygen utilisation) values at 70 stations throughout Hudson Bay. Integrated AOU values ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ ), maximum and mean AOU values ( $\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ) were calculated. Dissolved oxygen data from the 1976

Petrel cruise (Prinsenberg, unpublished data) were also examined and calculated in this way.

Maximum AOU values revealed a distinct cell of low oxygen concentrations in the central part of the bay. As indicated by Barber (1967), lowest dissolved oxygen concentrations occurred in the south and east and highest in the north and west. Barber's (1967) plots of absolute oxygen concentrations along various  $\sigma_t$  surfaces did not however identify the significant inputs of sub-saturated waters from Hudson Strait and Roes Welcome Sound. Waters from both areas had previously been thought to be at or near saturation due to intense mixing. In fact deep water samples from Hudson Strait were only 85% saturated with oxygen.

Integral AOU values (Fig. 1, left) showed the same general pattern as maximum AOU. In addition however there was a significant correlation of this parameter with depth ( $P < 0.01, r = 0.64$ ). An area of mixing over the central Hudson Bay shoal (Fig. 1, right), west of the Ottawa Islands and north of the Winisk River, was characterized by low integral AOU values.

A more detailed investigation of the James Bay-Belcher Islands area (Petrel,

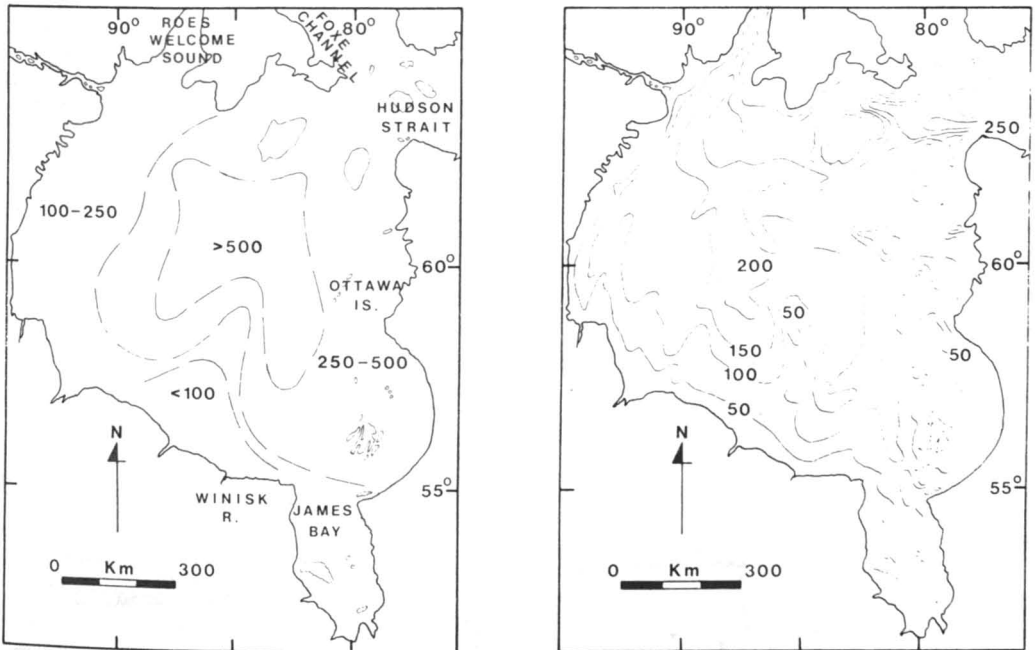


Figure 1. Left: Integral AOU (apparent oxygen utilisation) values ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ ) in Hudson Bay (1961 data). Right: Bathymetric map of Hudson Bay (after Prinsenberg, 1977), depths in metres.

1976, data), also yielded a strong correlation ( $P < 0.01$ ,  $r = 0.83$ ) between integral AOU and depth. Overall, AOU values both maximum and integral were very consistent between the 1961 and 1976 data. However, due to the more intensive sampling during 1976, a sharp distinction in AOU values between waters due north of the Hudson Bay-James Bay boundary (mean integral AOU approximately  $100 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ ), and those of surrounding Hudson Bay (mean integral AOU approximately  $200 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ ), can be seen (Fig. 2). Possibly the James Bay water with lower integral AOU values intrudes into the Hudson Bay cyclonic circulation, and local mixing causes an increase in oxygen content.

In order to remove the AOU contributions of Hudson Strait waters, mean AOU values from Hudson Strait and Foxe Channel waters were subtracted from values for each of the Hudson Bay stations. Assuming that the oxygen values from Hudson Strait are representative of conditions at the time of origin of the deep waters of Hudson Bay, the resulting relative AOU values now depict mean volumetric *in situ* oxygen consumption within Hudson Bay (Fig. 3, left).

From this analysis it appears that incoming waters from the Hudson Strait area,

and to a lesser extent from Roes Welcome Sound become further sub-saturated in oxygen proceeding cyclonically around the bay (Fig. 3, left). The highest AOU values, in a distinct cell in central Hudson Bay, probably indicate that this is the deep water centre of the gyre. Low AOU values ( $< 0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ), indicative of well mixed source waters, were also found along the southwest coast, in a region of high freshwater input (Prinsenbergh, 1977).

Unfortunately the preceding correction factor tends to overestimate the AOU to be removed in areas of lower salinity (such as the James Bay-Belcher Islands area) by assuming that all deep Hudson Bay waters derive from Hudson Strait. A sliding correction factor is necessary to reduce the problem of variable freshwater content in sub-pycnocline waters. As a first approximation we can apply a correction factor which reduces the Hudson Strait AOU contribution by the percentage of deep waters at each Hudson Bay station having a salinity  $> 31\%$ . The rationale is that this value represents the salinity at the Hudson Strait pycnocline, and that deep waters in Hudson Bay of lower salinity will have been proportionately affected by zero oxygen deficit fresh waters.

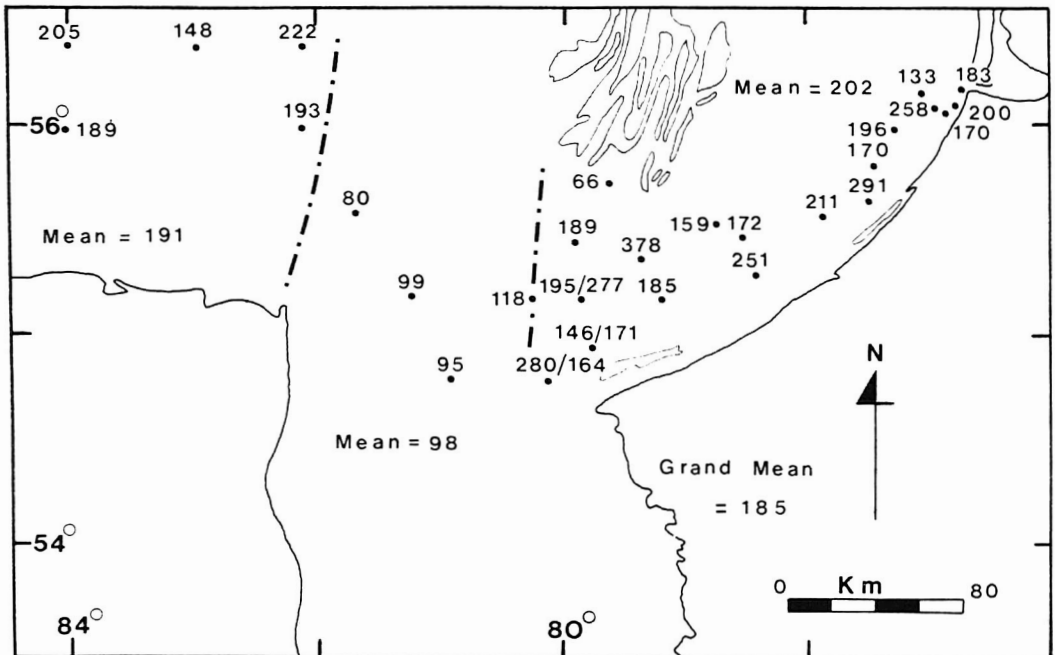


Figure 2. Mean integral AOU (apparent oxygen utilisation) values ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ ) at the Hudson-James Bay boundary (1976 data).

Application of this sliding factor (Fig. 3, right) had the effect of substantially restoring mean AOU values in areas where freshwater content of deep waters was highest (e.g. the James Bay-Belcher Islands area), whilst leaving values basically unchanged in those areas of maximum Hudson Strait influence.

**Turnover rate of the deep waters**

Perhaps the most important result that can be derived from the dissolved oxygen data, is a calculation of the ventilation or turnover time of the Hudson Bay sub-pycnocline layer. From the oxygen deficits, the amount of carbon metabolized to produce it can be easily calculated. Simple stoichiometric relationships show that 276 atoms of oxygen accompany 106 molecules of CO<sub>2</sub>, 16 nitrate ions and 1 phosphate ion in the complete oxidation of organic matter (Richards, 1965).

We next derive an estimate of the annual carbon sinking to the deep waters. Unfortunately primary production measurements in Hudson Bay are limited to observations in the Belcher Islands area (Legendre & Simard, 1979). From their data an estimate of 70 to 100 g C m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> for Hudson Bay

is reasonable, although probably high as a bay average (Anderson & Roff, 1980). Of this annual production, an expected 10 to 25% settles into the sub-pycnocline layer (Riley, 1970; Harrison, 1980, and references therein). A turnover rate of the deep layer can now be calculated by comparing actual carbon oxidized (calculated from oxygen deficits) to expected values.

From the foregoing we might expect to see 7 to 25 g C m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> contributed to the sub-pycnocline layer in Hudson Bay, assuming the bay does not turn over every year. In fact a mean value of approximately 100 g C m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> was actually determined for 103 stations sampled during 1961, 1976 and 1978 (e.g. one year's primary production occurs beneath the pycnocline!).

Accordingly, the turnover time for deep Hudson Bay waters appears to lie in the range of 4 to 14 years. This value is in good agreement with the 5-7 years proposed by Barber (1967), based on Riley's (1951) estimate of oxygen consumption rate in the North Atlantic. It is also consistent with the opinions of Helbig & Prinsenberg (Anderson & Roff, 1980), that annual mixing only takes place to a depth of about 60 m. It appears that Hachey (1931) was partially correct in

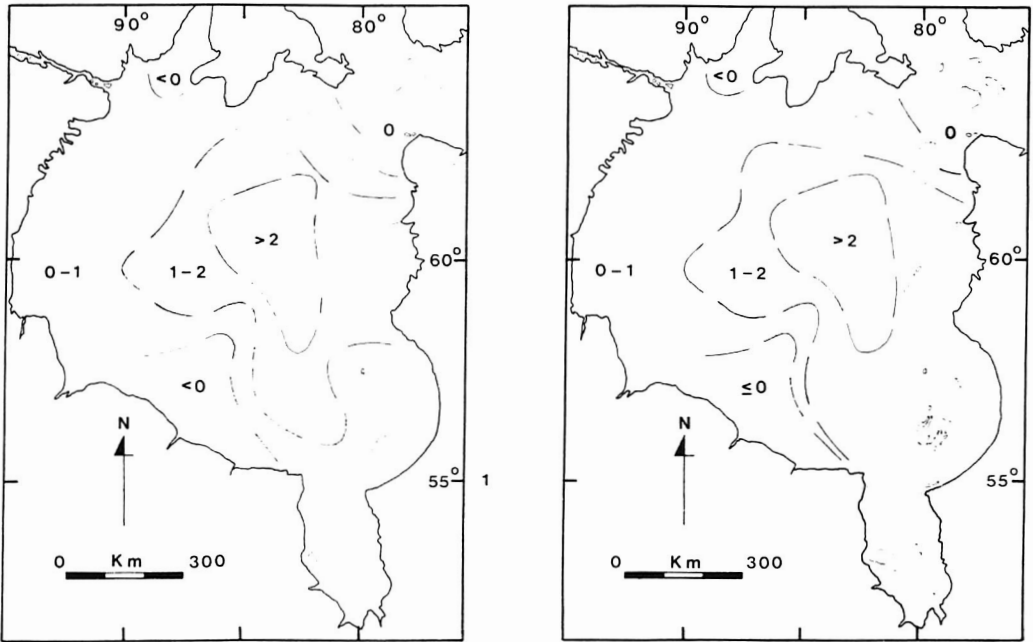


Figure 3. *Left*: Mean volumetric AOU (apparent oxygen utilisation) values (mg · l<sup>-1</sup>) minus AOU contribution from Hudson Strait. *Right*: Mean volumetric AOU contribution from Hudson Strait prorated to a salinity of 31‰.

describing deep Hudson Bay waters as "dynamically dead"; they are at least "dynamically comatose".

### Oxygen-nutrient relationships and biological implications

Since Hudson Bay does not completely turn over each year, the nutrient and biological consequences are of interest. Research on nutrients and biological processes in Hudson Bay has been very recent (Legendre & Simard, 1979; Roff *et al.*, 1980; Pett, 1981).

Legendre & Simard (1979) suggested that the low concentrations of nitrate observed in deep waters might be a result of a low rate of nutrient regeneration and also to the uncoupling of Hudson Bay from Atlantic waters as a result of intense mixing in Hudson Strait.

Using nutrient and oxygen measurements from the 1976 and 1978 Petrel cruises (in SE and NW Hudson Bay respectively) we can provide further evidence that low concentrations of nitrate and other nutrients are a consequence of slow or incomplete nutrient regeneration alone. By extending Redfield's model (see Richards, 1965, in previous section) it is possible to separate nutrients of oxidative origin (i.e. regenerated from organic matter) from those preformed, originally present in surface waters of source regions (Park 1967; Redfield *et al.*, 1963; Alvarez-Borrego *et al.*, 1975). The quantity of nutrients actually measured is then the sum of oxidative and preformed nutrients.

Using the mean plankton elemental ratios O:C:N:P:Si of 276:106:16:1:23 [N.B. The C:N ratio at least is appropriate for SE Hudson Bay waters (Anderson & Roff, 1980)], we can further reduce the nutrients of oxida-

tive origin into individual functions of AOU (Park, 1967), hence:

$$\begin{aligned} N_{\text{meas}} &= N_p + 0.12 \times \text{AOU} \\ P_{\text{meas}} &= P_p + 0.0073 \times \text{AOU} \\ Si_{\text{meas}} &= Si_p + 0.17 \times \text{AOU} \quad (\text{for waters above 200 m}) \end{aligned}$$

where:  $N_{\text{meas}}$ ,  $P_{\text{meas}}$ ,  $Si_{\text{meas}}$  = measured concentrations of nitrate, phosphate and silicate; and  $N_p$ ,  $P_p$ ,  $Si_p$  = preformed nutrient concentrations (all units in  $\mu\text{M}$ ). Ratios of preformed nutrients can then be used as tracers of water mass origin (Park, 1967). Of greater immediate interest, the relationships between observed nutrient levels and levels expected from oxidative origin, should indicate the consequences of a long deep water turnover time in Hudson Bay.

At almost all stations in both cruises (1976, 1978) the measured nitrate, based on observed oxygen depletions was less than expected and a preformed nitrate concentration could not be calculated (Table I). In contrast, observed levels of soluble reactive phosphorus were greater than or equal to expected levels throughout the water column. Observed levels of reactive silicate only exceeded expected levels in the upper 50 m. Due to the variable results of preformed nutrient concentrations, it would be difficult or impossible to use their ratios as tracers of water origins in the Hudson Bay system. It is intriguing to note that if all nitrogen were converted to nitrate by oxidation, then Hudson Bay deep water concentrations would approach values reported for Atlantic waters (Table I; Sverdrup *et al.*, 1942).

Possible reasons for such a nitrate deficit are few. Low temperatures ( $-1.8$  to  $0^\circ\text{C}$  in deep Hudson Bay) have most often been cited as limiting metabolic activities in

TABLE I

Mean observed and expected (calculated from apparent oxygen utilisation) nutrient concentrations ( $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ ) in sub-pycnocline Hudson Bay waters\*

Depth interval (m)	Reactive nitrate plus nitrite		Soluble reactive phosphorus		Reactive silicate	
	Observed	Expected	Observed	Expected	Observed	Expected
25-50	0.9	3.2	0.8	0.3	5.2	4.8
50-100	3.7	12.6	1.1	0.8	11.2	17.6
100-125	4.5	17.2	1.1	1.1	14.1	24.9
>125	5.1	18.2	1.3	1.1	16.5	25.3

\* Data from Pett (1981) and Legendre & Simard (unpublished).

Arctic waters. However, Schell (1974) clearly showed that both ammonification and nitrification occurred beneath winter ice in Alaskan coastal waters at temperatures below 0°C. In offshore waters in contrast, there was no evidence of nitrification and Schell (1974) suggested that these waters contained resistant dissolved organic nitrogen. Our own data (Freeman *et al.*, 1982) also indicated that nitrification occurred in James Bay under the ice at temperatures below 0°C.

A second, and apparently more important factor in nutrient remineralization, is the initial inoculum size. If this is low, almost certainly the case in deep offshore waters, then rates of ammonification and nitrification will be correspondingly low (J.B. Robinson, pers. comm.). Whatever the case, nitrogen regeneration in offshore sub-pycnocline Hudson Bay is clearly slow, and characterized by incomplete nitrification.

With respect to phosphorus and silica, their much smaller deficits (from expected levels on the basis of AOU) in deep waters tend to suggest that additional factors may be significant in their regeneration. In neither of these nutrients does the expected concentration ever attain values comparable to deep Atlantic waters. More detailed studies of nutrient cycling in the Hudson Bay system is clearly warranted.

Finally, it appears that the low productivity of Hudson Bay (Anderson & Roff, 1980) is due to incomplete vertical mixing and resultant low regeneration rates of nitrogen. Preliminary calculations for the bay (including Roff & Pett, unpublished data) indicate that nitrate and total nitrogen contributions from deep water mixing and freshwater runoff are of the same order of magnitude, but direct atmospheric contributions are about 10% of the total. Freshwater runoff to this large estuarine bay thus affects primary production negatively by increasing vertical stability, but positively by its relatively significant nutrient additions. A nutrient budget for the bay is an early requirement.

**Acknowledgments**

We are indebted to the following persons for access to unpublished data: Y. Simard and L. Legendre of GIROQ (1976 nutrient data from SE Hudson Bay); S. Prinsenber, OAS, Central Region CCIW (for 1976 temperature, salinity and dissolved oxygen data from James Bay and SE Hudson Bay) and A.R. Coote, Chemical Ocea-

nographic Division, BIO (for 1977 nutrient data from the Arctic Archipelago). Thanks are also extended to S. Prinsenber for constructive criticism of the manuscript.

**References**

ALVAREZ-BORREGO, S., C.H. CULBERSON & P.K. PARK, 1975. Oxygen-nutrient relationships in the Pacific Ocean. — *Limnol. Oceanogr.*, 20: 806-814.

ANDERSON, J.T. & J.C. ROFF, 1980. Seston ecology of the surface waters of Hudson Bay. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 2242-2253.

ANONYMOUS, 1964a. Hudson Bay project, 1961 — 1964 Data Record Series, no. 1, Canadian Oceanographic Data Centre, Ottawa, 173 p.

ANONYMOUS, 1964b. Hudson Bay project, 1961 — 1964 Data Record Series, no. 12, Canadian Oceanographic Data Centre, Ottawa, 115 p.

BAILEY, W.B., 1957. Oceanographic features of the Canadian Archipelago. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 14: 731-769.

BAILEY, W.B. & H.B. HACHEY, 1951. An increasing Atlantic influence in Hudson Bay. — *Proc. Nova Scotian Inst. Sci.*, 22: 17-33.

BARBER, F.G., 1967. A contribution to the oceanography of Hudson Bay. — Manuscript Report Series no. 4, Marine Sciences Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 69 p.

BARBER, F.G., 1968. Water. — Pages 287-318 in C.S. Beals & D.A. Shenstone (eds.). *Science, history and Hudson Bay, Volume 1*. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 501 p.

BARBER, F.G., 1972. On the oceanography of James Bay. — Pages 1-96 in Manuscript Report Series, no. 24, James Bay. Marine Sciences Branch, Department of the Environment, Ottawa, 193 p.

COACHMAN, L.K. & K. AAGARD, 1974. Physical oceanography of arctic and subarctic seas. — Pages 1-72 in Y. Herman (ed.). *Marine geology and oceanography of the Arctic seas*. Springer-Verlag, New York, 397 p.

DUNBAR, M.J., 1951. Eastern arctic waters. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, no. 88, 131 p.

DUNBAR, M.J., 1958. Physical oceanographic results of the "Calanus" expeditions in Ungava Bay, Frobisher Bay, Cumberland Sound, Hudson Strait and northern Hudson Bay, 1949-1955. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 15: 155-201.

FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT, 1982. Physical, chemical and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson Bays. — *Naturaliste can.*, 109: 745-764.

GRAINGER, E.H., 1963. Copepods of the genus *Calanus* as indicators of eastern Canadian waters. — Pages 68-94 in M.J. Dunbar (ed.).



- Marine distributions. Royal Society of Canada, Spec. Publ. no. 5, University of Toronto Press, Toronto, 110 p.
- GRAINGER, E.H. & J.E. LOVRITY, 1975. Physical and chemical oceanographic data from the Beaufort Sea, 1960 to 1975. — Technical Report no. 590, Fisheries and Marine Service, Environment Canada, Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec, 52 p.
- HACHEY, H.B., 1931. Biological and oceanographic conditions in Hudson Bay. 6. The general hydrography and hydrodynamics of the waters of the Hudson Bay region. — *Contr. Can. Biol.*, 7: 91-118.
- HACHEY, H.B., 1935. The circulation of Hudson Bay water as indicated by drift bottles. — *Science*, 82: 274.
- HARRISON, W.G. 1980. Nutrient regeneration and primary production in the sea. — Pages 433-460 in P.G. Falkowski (ed.). *Primary productivity in the sea*. Plenum Press, New York, 531 p.
- LEGENDRE, L. & Y. SIMARD, 1979. Océanographie biologique estivale et phytoplancton dans le sud-est de la baie d'Hudson. — *Mar. Biol.*, 52: 11-22.
- PARK, K., 1967. Nutrient regeneration and preformed nutrients off Oregon. — *Limnol. Oceanogr.*, 12: 353-356.
- PETT, R.J., 1981. Chesterfield Inlet oceanographic data report 1978, Volume 1. Nutrients and seston. — Data Report Series, Ocean and Aquatic Sciences, Central Region, Fisheries and Environment Canada, Burlington.
- PRINSENBERG, S.J., 1977. Hudson Bay oceanographic data report 1975, Volume 1. — Data Report Series no. 77-1, Ocean and Aquatic Sciences, Central Region, Fisheries and Environment Canada, Burlington, 308 p. (unpublished manuscript).
- PRINSENBERG, S.J., 1980. Man-made changes in the freshwater input rates of Hudson and James bays. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 1101-1110.
- REDFIELD, A.C., B.H. KETCHUM & F.A. RICHARDS, 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. — Pages 26-77 in M.N. Hill (ed.). *The sea, Volume 2*. Interscience, New York, 554 p.
- RICHARDS, F.A., 1965. Anoxic basins and fjords. — Pages 611-645 in J.P. Riley & G. Skirrow (eds.). *Chemical oceanography. Volume 1*. Academic Press, London, 712 p.
- RILEY, G.A., 1951. Oxygen, phosphate and nitrate in the Atlantic Ocean. — *Bull. Bingham oceanogr. Coll.*, 12: 1-126.
- RILEY, G.A., 1970. Particulate and organic matter in seawater. — *Adv. mar. Biol.*, 8: 1-118.
- ROFF, J.C., R.J. PETT, G.F. ROGERS & W.P. BUDGELL., 1980. A study of plankton ecology in Chesterfield Inlet, Northwest Territories: an arctic estuary. — Pages 185-197 in V.S. Kennedy (ed.). *Estuarine perspectives*. Academic Press, New York, 533 p.
- SADLER, H.E., H.V. SERSON & R.K. CHOW, 1979. The oceanography of Fury and Hecla Strait. — Technical Memorandum no. 79-11, Defense Research Establishment Pacific, Victoria, 61 p. (unpublished manuscript).
- SCHELL, D.M., 1974. Regeneration of nitrogenous nutrients in Arctic Alaskan estuarine waters. — Pages 649-664 in J.C. Reed & J.E. Sater (eds.). *The coast and shelf of the Beaufort Sea*. Arctic Inst. N.A., Arlington, Va, 750 p.
- SVERDRUP, H.U., M.W. JOHNSON & R.H. FLEMING, 1942. *The oceans*. — Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1087 p.
- WEISS, R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. — *Deep Sea Res.*, 17: 721-735.

## APERIODIC CHANGES OF WATER COLUMN STABILITY AND PHYTOPLANKTON IN AN ARCTIC COASTAL EMBAYMENT, MANITOUNUK SOUND, HUDSON BAY<sup>1</sup>

L. LEGENDRE

*Département de biologie, Université Laval  
Sainte-Foy, Québec G1K 7P4*

R. G. INGRAM

*Institute of Oceanography, Eaton Building, McGill University  
3620 rue Université, Montréal, Québec H3A 2B2*

and

Y. SIMARD

*Département de biologie, Université Laval  
Sainte-Foy, Québec G1K 7P4*

### Résumé

Le détroit de Manitounuk est un golfe étroit (60 km de long, pour une largeur moyenne de 3 km), situé dans la partie sud-est de la baie d'Hudson. Il n'y a, à l'intérieur du Détroit, que de faibles arrivées d'eau douce. Toutefois, les caractéristiques des masses d'eau y sont influencées par des intrusions répétées d'eau saumâtre, provenant de l'épanchement de la Grande rivière de la Baleine située au sud-ouest de l'embouchure du Détroit. L'échantillonnage fut mené de la mi-juillet à la mi-septembre 1977. On a observé des augmentations intermittentes de la concentration superficielle de chlorophylle *a*, dans la partie supérieure, tandis que les valeurs dans la partie inférieure et dans les eaux de la baie d'Hudson, à l'extérieur du Détroit, sont demeurées à peu près constantes. On a aussi observé des différences dans la stabilité de la colonne d'eau (nombre de Richardson), entre les parties supérieure et inférieure du Détroit, qui seraient causées par l'action conjointe des vents et des marées semi-mensuelles. Les concentrations de chlorophylle étant en corrélation positive avec la stabilité de la colonne d'eau, les poussées estivales de phytoplancton ont été attribuées aux variations observées dans la stabilité. Les poussées estivales de phytoplancton dans la partie supérieure du Détroit ont été causées par des cycles de stabilité et d'instabilité de la colonne d'eau, consécutifs aux marées et vents locaux. D'autres golfes côtiers, tant dans la baie d'Hudson que dans certains autres milieux arctiques, pourraient présenter de telles poussées estivales de phytoplancton.

### Abstract

Manitounuk Sound is a coastal embayment of southeastern Hudson Bay, 60 km long by 3 km in average width. Only minor local sources of fresh water occur in the sound, but its water mass characteristics are influenced by recurring intrusions of brackish water from the plume of the Grande rivière de la Baleine, southwest of the sound opening. Sampling was conducted from mid-July through mid-September 1977. Surface chlorophyll *a* concentrations exhibited intermittent bursts in the upper reaches of the sound, while they remained more or less constant in the lower sound and outside, in Hudson Bay waters. Differences in water column stability (Richardson number) were also observed between upper and lower Manitounuk Sound, which can be related to the combined effects of both winds and fortnightly tides. Since

<sup>1</sup> Contribution to the programme of GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).

chlorophyll concentrations were positively correlated with the stability of the water column, the intermittent summer phytoplankton blooms were explained in terms of the observed variations in water column stability. It was concluded that summer phytoplankton blooms in upper Manitounuk Sound were caused by cycles of relative stability and instability of the water column, driven by local winds and tides. It is also suggested that other coastal embayments of Hudson Bay, and of other arctic areas, may also exhibit similar summer phytoplankton blooms.

### Introduction

The vertical stability of the water column is of critical importance to the production of coastal phytoplankton. At times of continuous stratification, phytoplankton production is limited by the rate of *in situ* nutrient regeneration within the mixed layer. On the other hand, when the water column is unstratified, phytoplankton cells are mixed over the whole water column, often to depths where light is limiting. Thus, no phytoplankton biomass can accumulate in the photic layer despite the presence of nutrients made available by the vertical mixing. Typically at mid-latitudes, the spring bloom occurs at the transition between destabilized and stabilized conditions (critical depth: Sverdrup, 1953). Considering that nutrient replacement by vertical mixing plays a significant role in only a limited number of oceanic ecosystems, Wangersky (1977) proposed that phytoplankton is mainly controlled by near surface nutrient regeneration. On the contrary, Legendre (1981) suggested that periodic stabilization and destabilization of the water column is the most important control of phytoplankton blooms in productive marine areas. He demonstrated that the resulting input of mechanical energy enhances the primary production.

One of the reported mechanisms of periodic stabilization and destabilization of the water column, leading to summer outbursts of phytoplankton, is the periodic recurrence of high winds. Summer phytoplankton blooms were observed in Auke Bay, Alaska (Iverson *et al.*, 1974) and ascribed to high winds that mixed nitrate from greater depths into the photic layer. Similarly, occasional summer blooms were observed in Saanich Inlet, British Columbia (Takahashi *et al.*, 1977) following an abrupt increase in nutrients in the top 10 m of the water column, which resulted from strong winds. A reinterpretation of these data by Webb & D'Élia (1980) found a relationship of bloom occurrence to the neap-spring tidal stratification-destratification. Furthermore, Therriault *et al.* (1978) have demonstrated that phyto-

plankton production is controlled by high levels of wind stress induced turbulence.

In coastal areas, Legendre (1981) reported various mechanisms that stabilize and destabilize the water column over a wide range of time scales, which provoke intermittent outbursts of phytoplankton. The mechanisms mentioned include seasonal heat exchanges and/or river runoff, wind stress, and fortnightly and semidiurnal tides. The present study considers the combined action of both winds and tides on the vertical stability of the water column, and its effects on coastal phytoplankton.

### Study area

Manitounuk Sound (Fig. 1) is a coastal embayment of southeastern Hudson Bay, 60 km long by 3 km in average width. The sound is in the lee of the Manitounuk Islands and is thus protected from the dominant winds over Hudson Bay. Depths range from 90 m at its entrance to 5-10 m at its inner termination. Manitounuk Sound has a number of passages to Hudson Bay near its mouth, but only two connections over its remaining length (Schooner and Boat Opening). Only minor sources of fresh water occur in the sound, but its water mass characteristics are influenced by recurring intrusions of brackish water from the plume of the Grande rivière de la Baleine.

The deep waters of south-eastern Hudson Bay, including Manitounuk Sound, have consistently low levels of nitrate (Legendre & Simard, 1979). This was explained in terms of isolation from the ocean together with low nutrient regeneration, and may result in a limitation of phytoplankton production in the summer. However, the coastal area of Manitounuk Sound supports active fishing and seal hunting for the native population of Poste-de-la-Baleine (NHRC, 1977) and is assumed to be a reasonably productive system. Thus, Manitounuk Sound appeared to be an interesting area in which to study the relative importance of the various factors affecting the production of phytoplankton.

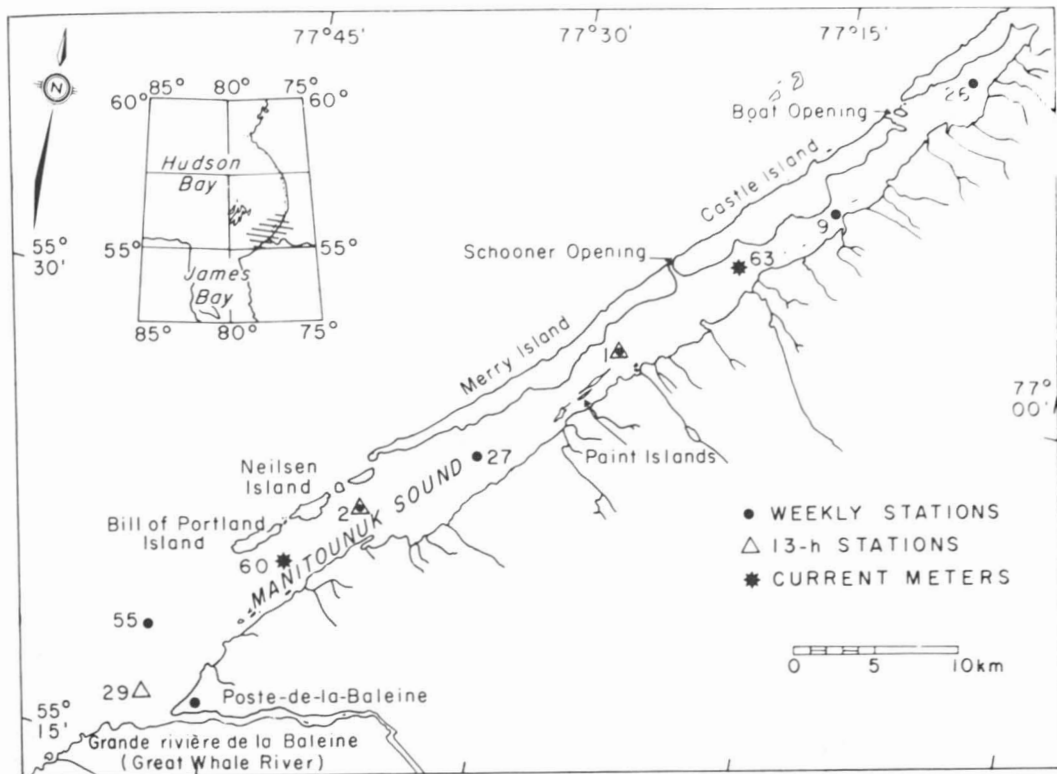


Figure 1. Map of study area showing station positions. Manitounuk Sound extends from Bill of Portland Island to beyond Boat Opening.

especially in relation to the hypothesis pertaining to summer blooms. The present study is also of a more general interest to the understanding of the controls on phytoplankton production in the various coastal embayments of James and Hudson Bay, and thus of other arctic environments.

## Materials and methods

### SAMPLING

Aanderaa current meters were moored at two stations in Manitounuk Sound (Fig. 1), from 28 August to 13 September 1977. These instruments, placed at depths of 5 and 20 m, recorded speed, direction, temperature, conductivity and pressure at a constant sampling rate of 5 min. Velocity information was separated in along-channel (U) and cross-channel (V) components with U positive out of the sound and V positive 90° counter-clockwise. Wind and tidal information were obtained from stations at Poste-de-la-Baleine, the former from the Atmospheric Environment Service on an hourly basis while the tidal heights were measured with an Aande-

raa self-recording tide gauge. Winds were vectorially decomposed in a similar manner to currents.

Biological oceanographic sampling was conducted at six stations, located on a transect along the longitudinal axis of Manitounuk Sound (Fig. 1). Station depths are given in Table I. The six stations were occupied weekly, from mid-July through mid-September 1977, with the exception of the third week of July. Stations 29, 2 and 1 (Fig. 1) were also occupied once or twice for 13 h (dates given in Table VI), in order to assess the variability of properties over a semidiurnal tidal cycle. Up until mid-August, only surface water was collected; subsequently, sampling was done at 0 and 5 m, and at a third depth (between 10 and 30 m) chosen according to the depth of the station. Current meter profiles were taken with an Aanderaa current meter (0.5 min sampling). Bottle samples, Beckman RS-5 and current meter casts were taken simultaneously on many occasions as means of salinity verification. Water samples were collected with a Niskin bottle, filtered on Whatman GF/C and frozen

TABLE I

Average chlorophyll concentrations ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) at the six weekly stations, mid-July (0 m) or end of August (5 m) through mid-September 1977\*

Station	Depth (m)	Surface (N = 8)		5 m (N = 3)	
		Mean	C.V.	Mean	C.V.
55 Hudson Bay	60	0.70	39	0.58	53
2	52	0.63	31	0.69	70
27 Lower sound	35	0.68	50	0.69	55
1	38	1.22	48	1.18	29
9 Upper sound	24	1.99	97	1.40	77
26	15	1.26	73	1.09	73

\* Coefficients of variation: C.V. (%) = 100 (standard deviation/mean).

for later determination of nutrients ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ) and chlorophyll *a* (fluorometric method) in the laboratory (Strickland & Parsons, 1972). Phytoplankton ATP was measured in the laboratory (Holm-Hansen & Booth, 1966), with an ATP-photometer SAI 3000, on a frozen solution extracted at sea (boiling Tris buffer) from freshly filtered phytoplankton. Sampling was conducted aboard the *M/V Techno-Richelieu*, a 14 m laboratory-equipped boat.

#### NUMERICAL ANALYSES

No standard statistical approach (such as regression analysis), can be used to investigate a relationship that is not monotonic (a relationship between two variables is monotonic if they continuously increase or decrease relative to each other). For instance, the scatter diagram of chlorophyll as a function of salinity shows that almost all the high chlorophyll values lie at intermediate salinities (Table VII). In order to analyze such variables, all the available data were allocated to a contingency table (Table V, VII and VIII). The figure in one cell of the table is the number of observations pertaining to a class of each of the two variables. The limits of the classes were established from the scatter diagram of the two variables so as to maximize the variability between classes, and to minimize that within classes. A likelihood ratio (Wilks, 1935) may be computed to assess the strength of the relationship between the two variables; when the sample size  $N$  is large, this statistic has an approximate  $\chi^2$  distribution:

$$\chi^2 = 2 \sum_{\text{all the cells}} O \ln (O/E)$$

where  $\ln$  is the natural logarithm,  $O$  is the observed value in each cell, and  $E$  is the expectation of each cell under the null hypothesis of independence between the two variables (see for instance Fienberg, 1970). If the hypothesis of independence is rejected (small probability associated with the computed  $\chi^2$  statistic), the correspondence between the rows (first variable) and columns (second variable) of the contingency table may be established by computing, for each cell, a statistic adapted from Neu *et al.* (1974):

$$\frac{|O - E|}{\sqrt{O(1 - O/N)}}$$

If the statistic is larger than  $z_{[1 - (\alpha/2rc)]}$  ( $r$  and  $c$  being the number of rows and columns in the contingency table),  $O$  is then significantly different from  $E$  at the chosen probability level  $\alpha$ . This statistic may be computed only if  $5 \leq O \leq (N - 5)$  (Hayes & Winkler, 1970, p. 225). Cells where  $O$  is significantly different from  $E$  are those where the interaction between the two variables lies.

#### Results

In Manitousunuk Sound, the observed concentrations of chlorophyll *a* below 5 m depth were very low, with an average of  $0.18 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $s = 0.13$ ) at the weekly stations, and  $0.24 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $s = 0.12$ ) at the 13-h stations.

The overall average for all the stations, from mid-August to mid-September, was  $0.23 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $s = 0.13$ ) in the waters deeper than 5 m. Therefore, the only chlorophyll *a* concentrations considered hereinafter are from 0 and 5 m depths.

The summer average concentrations of chlorophyll *a*, in the upper layer (0 – 5 m) differed from station to station. Data from mid-July through mid-September 1977 (Table I) showed that stations in the upper sound (stns. 1, 9 and 26) supported higher average chlorophyll than those from the lower sound (stns. 2 and 27) or from outside Manitounuk Sound in Hudson Bay (stn. 55). The median surface chlorophyll concentration, in the upper sound, was found significantly higher than that in the lower sound using the median test (Siegel, 1956):  $\chi^2 = 8.44$ ,  $P < 0.01$ ; at 5 m depth, the two medians were not significantly different ( $P > 0.05$ ). Higher coefficients of variation at the two innermost stations of the sound (stns. 9 and 26: Table I), both at 0 and 5 m, reflected possible intermittent phytoplankton bursts throughout the summer, as shown on Figure 2 for the surface waters.

Average nutrient concentrations at the surface (Table II) and deeper levels, were not very different between stations. Thus, nutrient concentrations could not be used to explain the observed differences in chlorophyll concentration and instead the study focused on the hydrodynamic stability conditions in lower and upper Manitounuk Sound. Current meters were not moored at the same stations as those sampled in the biological survey. However, two current meter strings were moored from 28 August to 13 September at stations 60 and 63 (Fig. 1). Station 60 is in the lower sound, near station 2, and station 63 is in the upper sound, near station 9, at which the highest average chlorophyll concentrations and variability of all of the six sampling stations were observed (Table I). It should be noted that cross-sectional area of the channel at station 9 is somewhat smaller than at station 63. In the first two weeks of September, both stations 2 and 9 were sampled thrice for biological oceanographic properties, a chlorophyll burst occurring at station 9 during this same period (Fig. 2).

From the current meters moored at stations 60 and 63, information was obtained on

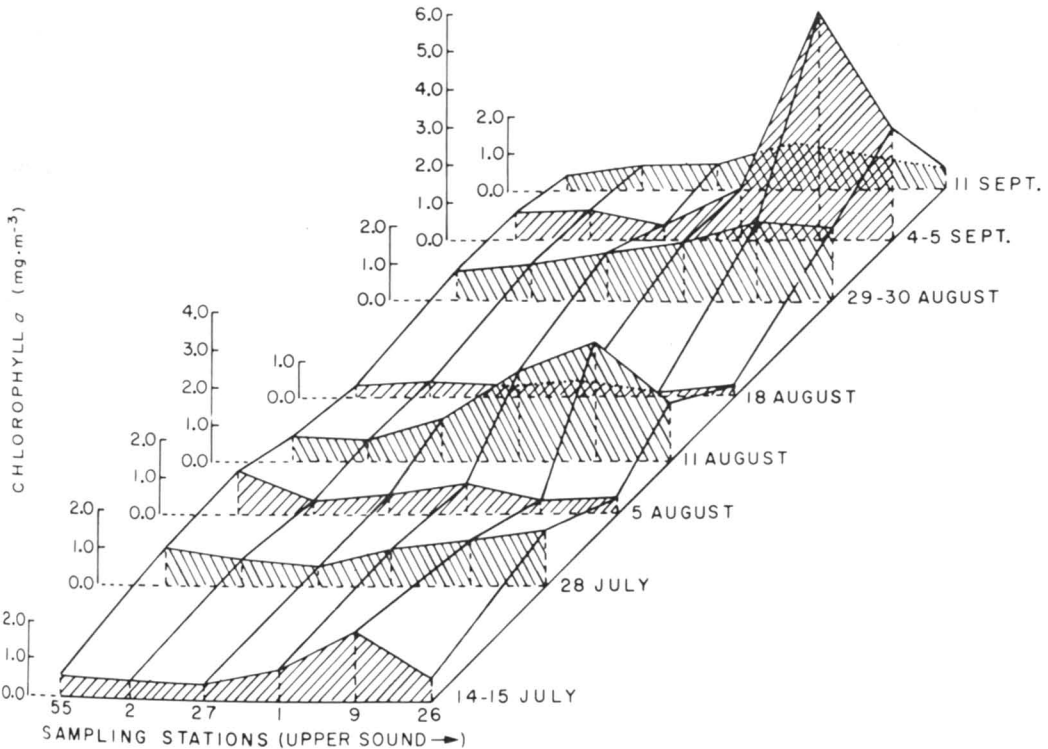


Figure 2. Chlorophyll concentrations in the surface waters of Manitounuk Sound, mid-July through mid-September 1977.

TABLE II

Average nutrient concentrations (mg-at.m<sup>-3</sup>) in the surface waters of the six weekly stations. *N* = 8 observations, from mid-July to mid-September 1977

Station	SiO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
55 Hudson Bay	6.2	0.5	0.22
2 Lower sound	6.7	0.3	0.29
27	5.1	0.6	0.25
1 Upper sound	7.8	0.4	0.37
9	7.0	0.5	0.31
26	6.9	0.4	0.22

the mean circulation and hydrodynamic stability of the water column. In Table III, the mean values for temperature, salinity, along-channel and cross-channel velocity, and the amplitude of the semidiurnal tidal current are shown for both stations. Equivalent velocity values at station 9 were probably larger than at station 63 because of the smaller cross-section. In comparing the stations, lower mean salinities were found at the inner station (stn. 63) than near the entrance (stn. 60). Mean flow was out of the sound at the upper level and in at 20 m, directly along the channel axis. Tidal currents were about 10 cm.s<sup>-1</sup> in magnitude, the strongest values encountered at a depth of 20 m at the inner station.

In estimating hydrodynamic stability at each current meter location, the density difference and the square of the total velocity shear between 5 and 20 m (instrument depths) were calculated. These two factors were combined to provide an estimate of the

Richardson number (Ri) (Turner, 1973), which compares the stabilizing influence of density stratification to the destabilizing effect of velocity shear. Low values of Ri correspond to weaker stability conditions. The Ri time series at stations 60 and 63 are shown in Figure 3, along with the axial wind component. In addition to strong quarter and semidiurnal oscillations in Ri, there was also a significant low frequency variability of the signal. In Table IV, the mean and standard deviation of the density difference, velocity shear and Ri are shown. Major differences did occur in the mean density differences and Richardson numbers, which were lower at station 60 than at station 63. This indicates lower overall stability at station 60 than at station 63.

All the available data from the various sampling stations, at 0 and 5 m, were then collected into contingency tables, in order to bring out the overall relationships between stability (Ri), salinity in the surface layer, and chlorophyll concentrations. The information available for Ri and salinity was intensive (2 stations, during 2 weeks), while that for salinity and chlorophyll a was extensive (7 stations, 2-month sampling). The current meter data from stations 60 and 63 were used to establish the relationship between salinity (at 5 m, the depth of the shallowest instrument) and Ri. At 5 m depth, no recorded salinity is below 18‰. All the data for the two stations were allocated to a contingency table (Table V), as explained in the Methods. The null hypothesis of independence between salinity and Ri being rejected, the correspondence between the two variables lies in a single cell: at high salinities (>22‰), a significantly ( $\alpha = 0.05$ ) small number of high Ri (>100) were observed. Also,

TABLE III

Current meter mean values at stations 60 and 63, in the first fortnight of September 1977

	Station 60 (85 m depth)		Station 63 (30 m depth)	
	5 m	20 m	5 m	20 m
Temperature (°C)	8.5	5.5	9.7	6.1
Salinity (‰)	23.1	26.2	20.9	25.5
Along-channel velocity (U: cm · s <sup>-1</sup> )	+6	-8	+5	-1
Cross-channel velocity (V: cm · s <sup>-1</sup> )	-1	0	0	0
Semidiurnal (M <sub>2</sub> ) current velocity (cm · s <sup>-1</sup> )	10	8	10	15

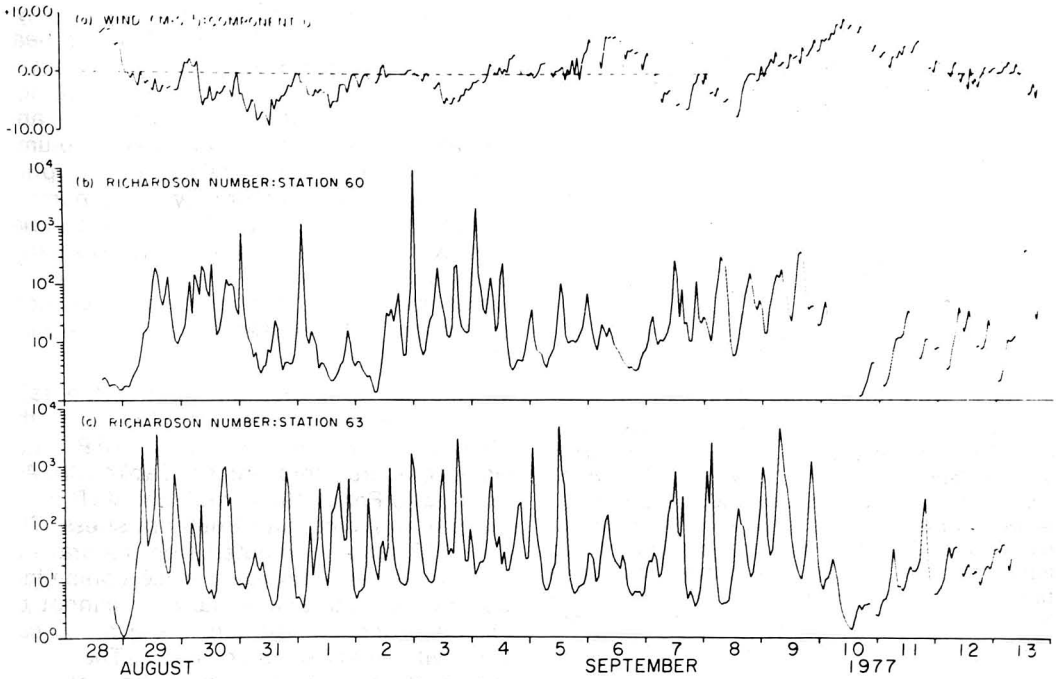


Figure 3. Time series in the first fortnight of September 1977: (a) along-axis wind component at Poste-de-la-Baleine (negative: winds into the sound), and Richardson number at (b) station 60 and (c) station 63.

the number of high Ri observed at salinities <22‰ was quite large, since the probability associated with the statistic 2.38 (Table V) is 0.10. Thus, high Ri values were positively associated with salinities <22‰, and negatively with higher salinities.

At the six sampling stations, the concentration of chlorophyll varied from week to week in the surface waters (Fig. 2). Peaks occurred intermittently at stations in the upper sound, with maximum values always at station 9. Chlorophyll concentrations graphed in Figure 2 were single observations, but the data from the five 13-h stations (Table VI) showed the variation over a tidal cycle

was not exceedingly high, especially for station 1, well inside Manitounuk Sound.

In order to investigate the general relationship between chlorophyll and the physical conditions, all data from 0 and 5 m, for both the weekly and the 13-h stations, were allocated to a contingency table (Table VII). The null hypothesis of independence between chlorophyll and salinity being rejected, the correspondence between the two variables lies in three cells: at high salinities (>22‰), there was a significantly ( $\alpha = 0.05$ ) small number of high chlorophyll (>1.5 mg · m<sup>-3</sup>) observations, whereas at intermediate salinities (18-22‰) high chlorophyll observations

TABLE IV

Mean and standard deviation(s) of stability indicators at stations 60 and 63, in the first fortnight of September 1977

	Station 60 (85 m depth)		Station 63 (30 m depth)	
	Mean	s	Mean	s
$\Delta\sigma_t(5 - 20 \text{ m})$	2.7	1.1	4.0	0.7
Velocity shear ( $s^{-1}$ )	0.0132	0.0097	0.0124	0.0078
Richardson no. (Ri)	74	526	162	525



TABLE V

Contingency table: salinity at 5 m (rows: two classes) as a function of Richardson number between 5 and 20 m (columns: three classes)\*

Salinity (‰)	Richardson number (Ri)		
	0-3	3-100	100-10000
22-27	41	340	47
	(33.27)	(328.75)	(65.98)
	<i>1.24</i>	0.82	2.68
18-22	18	243	70
	(25.73)	(254.25)	(51.02)
	1.84	0.88	2.38

\* In each cell: no. observations (*O*), expectation (*E*: in parentheses) under the null hypothesis of independence between salinity and Ri, and the statistic to test if  $O = E$  ( $\alpha = 0.05$ ). Statistic in italics is larger than  $z_{[1 - 0.05/12]} = 2.64$ , indicating that  $O \neq E$ . Data from the first fortnight of September, stns. 60 and 63. Total number of observations  $N = 759$ ,  $\chi^2 = 17.54$  ( $\nu = 2$ ,  $P < 0.001$ ): the hypothesis of independence between salinity and Richardson number is rejected.

were significantly numerous while low chlorophyll observations were significantly infrequent. At low salinities (<18‰), the numbers observed were not significantly different from the expectations under the null hypothesis of independence. High chlorophyll concentrations were therefore positively associated with the intermediate salinities, whereas they were much reduced in waters of higher salinity. On the other hand, low concentrations were characteristically infrequent at intermediate salinities.

Tables V and VII can be used to infer the relationship between temporal stability of the water column and chlorophyll concentrations, by means of the salinity. In addition, this relationship was observed directly in the first

TABLE VI

Mean and standard deviation (s) of chlorophyll ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) at the 13-h stations

Station	Date	Surface		5 metres	
		Mean	s	Mean	s
29	3 Sept.	0.9	0.26	0.5	0.24
2	24 August	2.1	1.05	1.3	0.59
2	14 Sept.	1.4	0.57	0.6	0.25
1	22 August	1.0	0.26	0.8	0.20
1	12 Sept.	0.7	0.12	0.5	0.16

fortnight of September, when chlorophyll was sampled thrice at stations 2 and 9, near stations 60 and 63 respectively. Figure 4 shows the relationship between average chlorophyll concentration at 0 and 5 m, and the average stability of the water column (Ri) in the semidiurnal tidal cycle (13 h) prior to the sampling of chlorophyll. The number of data being small ( $N = 6$ ), a rank correlation (Kendall, 1948) between the two variables was computed:  $\tau = 0.73$  ( $P < 0.05$ ), which means that higher chlorophyll concentrations were observed with increasing stability of the water column.

In order to better understand the relationship between phytoplankton and the physical conditions, chlorophyll:ATP ratios were compared to salinities (Table VIII). According to Perry (1976), high chl:ATP ratios may be an indication of nutrient stress. The chl:ATP ratios computed from natural water samples are minimum, since contamination by heterotrophic organisms cannot be excluded and, in addition, these ratios can vary with species composition. The hypothesis of independence between chl:ATP and salinity being rejected, the correspondence between the two variables lies in two

TABLE VII

Contingency table: chlorophyll (rows: two classes) as a function of salinity (columns: three classes)\*

Chlorophyll ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	Salinity (‰)		
	6-18	18-22	22-26
1.5-6.1	2	22	7
	(3.29)	(8.09)	(19.62)
	<i>**</i>	3.14	4.85
0-1.5	20	32	124
	(18.71)	(45.91)	(111.38)
	0.30	2.67	1.79

\* In each cell: no. observations (*O*), expectation (*E*: in parentheses) under the null hypothesis of independence between chlorophyll and salinity, and the statistic to test if  $O = E$  ( $\alpha = 0.05$ ). Statistics in italics are larger than  $z_{[1 - 0.05/12]} = 2.64$ , indicating that  $O \neq E$ . Data from 0 and 5 m, at the six sampling stations (weekly observations and 13-h series), mid-July through mid-September 1977. Total number of observations  $N = 207$ ,  $\chi^2 = 33.78$  ( $\nu = 2$ ,  $P < 0.001$ ): the hypothesis of independence between chlorophyll and salinity is rejected.

\*\* $O < 5$ : no statistic computed.

cells: at low salinity ( $\sim 18\text{‰}$ ), low chl: ATP ( $<2.5$ ) observations were significantly ( $\alpha = 0.05$ ) infrequent while high chl: ATP ( $>2.5$ ) were significantly numerous. Thus, low salinities were positively associated with ratios characteristic of (nutrient or otherwise) stressed phytoplankton, and negatively with ratios indicating unstressed cells. However, the caveats mentioned for natural samples must be remembered.

**Discussion**

Moored current meter information and calculated water column stability indicators (Fig. 3; Table IV) showed station 60 to be less stable than station 63, this resulting mainly from a much lower density stratification. Although both the upper and lower depth salinity values were smaller at the inner station (stn. 63), the major difference occurred at 5 m (Table III). This is a surprising result as the only major source of fresh water in this area is the Grande rivière de la Baleine, located southwest of the sound opening. The combined mean outflow of the small creeks along the south shore of the sound being only about  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , in comparison with  $667 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  for the Grande rivière de la Baleine. The reason why salinity values were generally lower at station 63 than

60 is related to the longer residence time of low salinity waters advected into the upper sound. In contrast to Ri values at station 63, which did not responded rapidly to variations in the wind, changes in the low frequency variation of Ri values in the lower sound (stn. 60) in response to wind variations were more apparent (Fig. 3).

Although the mean values of Ri series differed substantially at the two mooring locations (Table IV), the individual values are of more significance in explaining the chlorophyll maxima observed in the upper sound. In examining Figure 3, one finds low Ri values for extended periods on 28 and 29 August as well as on 10 September at both stations. In contrast, Ri values were uniformly high before and during sampling on 5 September at station 63. The stability of the water column prior to the sampling of chlorophyll was well correlated with the mean chlorophyll observed in the top 5 m (Fig. 4).

In order to explain the spatio-temporal variability of Ri values in Manitousuk Sound, the combined effects of both wind and tide must be included. (1) In general, winds into the sound (negative U, Fig. 3) resulted in lower surface salinity values with an opposite trend for outward directed winds. It

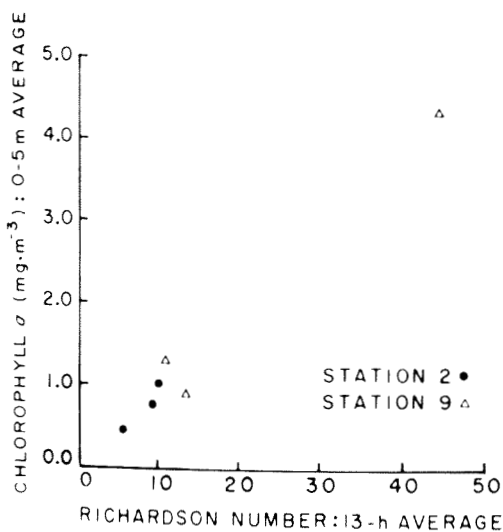


Figure 4. Relationship between average chlorophyll at 0 and 5 m, and average stability of the water column (Richardson number) in the previous 13 h. Stations 2 (Ri at station 60) and 9 (Ri at station 63) for the first fortnight of September 1977.

TABLE VIII

Contingency table: chlorophyll: ATP ratio (rows: two classes) as a function of salinity (columns: three classes)\*

CHL: ATP	Salinity (‰)		
	6-18	18-22	22-26
2.5-30.5	13 (3.38) 2.76	9 (9.58) 0.20	15 (24.04) 2.43
0-2.5	5 (14.62) 4.36	42 (41.42) 0.10	113 (103.96) 1.30

\* In each cell: no observations (O), expectation (E: in parentheses) under the null hypothesis of independence between chl: ATP ratio and salinity, and the statistic to test if  $O = E$  ( $\alpha = 0.05$ ). Statistics in italics are larger than  $z_{[1 - 0.05/2]} = 2.64$ , indicating that  $O \neq E$ . Data from 0 and 5 m, at the six sampling stations (weekly observations and 13-h series), mid-July through mid-September 1977. Total number of observations  $N = 197$ ,  $\chi^2 = 29.03$  ( $r = 2$ ,  $P < 0.001$ ); the hypothesis of independence between chl: ATP and salinity is rejected.

should be remembered that quoted wind values are for Grande rivière de la Baleine. Because of the high relief topography surrounding the sound, outward directed winds in the upper reaches were probably of lower magnitude than those at the meteorological station. Winds into the sound would not be similarly attenuated. Thus, the transport of brackish waters from the Grande rivière de la Baleine plume into the sound occurs at all stations for negative winds. The residence time of these waters is longer in the upper reaches than the lower during the subsequent wind reversal, because of the sheltering effect. (2) Although not considered herein, an examination of the low frequency (period > 50 h) variation of Ri series (Fig. 3) by digital filtering shows a lowering of stability values during spring tides. At higher tidal frequencies, most of the variation is quarter and semidiurnal.

In Manitounuk Sound, the vertical distribution of phytoplankton seems to be restricted to the surface layer (0 to 5 m), with no subsurface chlorophyll maximum being observed (the average chlorophyll concentration below 5 m is  $0.23 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). In Hudson Bay, Anderson & Roff (1981) reported chlorophyll maxima below the pycnocline, but only for offshore stations.

In typical conditions of summer stratification and *in situ* nutrient regeneration, phytoplankton biomass generally remains at a relatively low level after the initial bloom. In upper Manitounuk Sound, several instances of high chlorophyll concentrations were observed throughout the summer (Fig. 2). Since the sampling was conducted on a weekly basis, the recorded number of phytoplankton bursts was probably underestimated. These outbursts, and not the intervening periods of low chlorophyll concentrations, are the phenomena of interest to the present study. The various physical and biological observations in the sound lead to the following model of summer phytoplankton blooms in this coastal embayment: (1) For high salinities in the surface layer (>22‰), high Richardson numbers were infrequent (Table V): destratification mixed high salinity water to the surface. Such destratified conditions, with associated high salinities, were not favourable for the phytoplankton (Fig. 4; Table VII). The cells were dispersed over the whole water column by vertical mixing, with no accumulation of biomass at any single depth. (2) For low salinities in the surface layer (<18‰), high Richardson

numbers were probably most frequent, since the density gradient was strong (no data for salinities < 18‰ in Table V). However, low salinity waters were not especially favourable nor adverse to phytoplankton (Table VII). In this case, stratification is favourable to the phytoplankton, but the surface layer is significantly diluted by brackish water from the plume of the Grande rivière de la Baleine and adverse effects of decreasing salinities cannot be rejected (Table VIII). Therefore, neither low salinity stabilized water nor an unstable water column were conducive to phytoplankton summer outbursts. (3) High chlorophyll concentrations were associated with intermediate salinities, under which conditions low chlorophyll concentrations were significantly infrequent (Table VII). These intermediate salinities were associated in the first fortnight of September, with high Richardson numbers (Table V). At the same time, chlorophyll concentrations were positively correlated with the stability of the water column (Fig. 4). In such intermittent conditions of stability, nutrient concentrations were obviously large enough to support high chlorophyll concentrations, as a consequence of either vertical exchanges and/or *in situ* regeneration of nutrients. Thus intermittent summer blooms of phytoplankton occurred in Manitounuk Sound upon stabilization of the water column, as a combined result of wind relaxation and fortnightly tides.

Similar to the work of Roff *et al.* (1980) in Chesterfield Inlet, a deep estuary of northwestern Hudson Bay, a larger residence time of waters in upper Manitounuk Sound contributed to generally higher concentrations of phytoplankton (Table I; Fig. 2). In contrast to their findings, the level of phytoplankton in Manitounuk Sound was positively correlated to Richardson number (Fig. 4).

One of the main problems in biological oceanography is to record variations of biological properties at a rate that is relevant to the variability of the physical environment. *In vivo* chlorophyll fluorescence (Lorenzen, 1966) can be recorded at high frequency, but the measurement of production rates or photosynthetic characteristics of the phytoplankton cannot yet be automated. The problem becomes almost unmanageable when an array of stations is to be monitored, especially in areas where the logistics is difficult, such as the arctic environment. Despite limited observations, results from Manitounuk Sound support the conceptual model of

Legendre (1981), in which phytoplankton production occurs following stabilization of a previously destabilized water column. It must be noted that stabilization of the water column was invoked by Legendre *et al.* (1981), using data from Manitounuk Sound, in explaining the initiation of phytoplankton blooms in the upper water column under the ice. Summer blooms did occur in Manitounuk Sound likely because the area is a coastal embayment, where the dominant wave action of Hudson Bay is not felt but the combined influence of local winds and tides contributes to cycles of relative stability and instability. It is therefore possible that other coastal embayments of Hudson Bay, and of other arctic areas, exhibit similar patterns of summer phytoplankton blooms.

### Acknowledgments

This study was conducted by GIROQ, within the framework of an oceanographic research contract financed by Hydro-Québec (Mandat d'avant-projet préliminaire Hydro-Québec/OGB 76-1). We are especially indebted to J.-C. Deguise, who supervised the fieldwork and was responsible for the current meter mooring, and M. Huot, F. Auger and Y. Chagnon for their assistance in the field. Figures were drawn by L. Roy. Funds from the National Sciences and Engineering Research Council of Canada to L. Legendre and R.G. Ingram were also instrumental in the completion of this work.

### References

- ANDERSON, J.T. & J.C. ROFF, 1981. Subsurface chlorophyll a maximum in Hudson Bay. — *Naturaliste can.*, 107: 207-213.
- FIENBERG, S.E., 1970. The analysis of multi-dimensional contingency tables. — *Ecology*, 51: 419-433.
- HAYES, W.L. & R.L. WINKLER, 1970. *Statistics: probability, inference and decision*. Vol. 1 — Holt, Rinehart and Winston, New York, 650 p.
- HOLM-HANSEN, O. & C. BOOTH, 1966. The measurement of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance. — *Limnol. Oceanogr.*, 11: 510-519.
- IVERSON, R.L., H.C. CURL Jr., H.B. O'CONNORS Jr., D. KIRK & K. ZAKAR, 1974. Summer phytoplankton blooms in Auke Bay, Alaska, driven by wind mixing of the water column. — *Limnol. Oceanogr.*, 19: 271-278.
- KENDALL, M.G., 1948. *Rank correlation methods*. — Charles Griffin and Co., London, 160 p.
- LEGENDRE, L., 1981. Hydrodynamic control of marine phytoplankton production: the paradox of stability. — Pages 191-207 in J.C.J. Nihoul (ed.). *Ecohydrodynamics*. Elsevier, Amsterdam, 359 p.
- LEGENDRE, L. & Y. SIMARD, 1979. Océanographie biologique estivale et phytoplancton dans le sud-est de la baie d'Hudson. — *Mar. Biol.*, 52: 11-22.
- LEGENDRE, L., R.G. INGRAM & M. POULIN, 1981. Physical control of phytoplankton production under sea ice (Manitounuk Sound, Hudson Bay). — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 38: 1385-1392.
- LORENZEN, C.J., 1966. Continuity in the distribution of surface chlorophyll. — *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, 34: 18-23.
- NEU, C.W., C.R. BYERS, J.M. PEEK, 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. — *J. Wildl. Mgmt.*, 38: 541-545.
- NHRC: NATIVE HARVESTING RESEARCH COMMITTEE, 1977. Research to establish present levels of harvesting by native people of northern Québec, Phase 1 (1973-1975). Part II. A report on the harvests by the Inuit of northern Québec (MAKIVIK). Final report. — James Bay and Northern Québec Native Harvesting Committee, Montréal, 230 p.
- PERRY, M.J., 1976. Phosphate utilization by an oceanic diatom in phosphorus-limited chemostat culture and in the oligotrophic waters of the central North Pacific. — *Limnol. Oceanogr.*, 21: 88-107.
- ROFF, J.C., R.J. PETT, G.F. ROGERS & W.P. BUDGELL, 1980. A study of plankton ecology in Chesterfield Inlet, Northwest Territories: an arctic estuary. — Pages 185-197 in V. Kennedy (ed.). *Estuarine perspectives*, Vol. II. Academic Press, New York, 533 p.
- SIEGEL, S., 1956. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. — McGraw-Hill, New York, 312 p.
- STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS, 1972. *A practical handbook of seawater analysis*, 2<sup>nd</sup> ed. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, no. 167, 310 p.
- SVERDRUP, H.U., 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. — *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, 18: 287-295.
- TAKAHASHI, M., D.L. SIEBERT & W.H. THOMAS, 1977. Occasional blooms of phytoplankton during summer in Saanich Inlet, B.C., Canada. — *Deep-Sea Res.*, 24: 775-780.
- TERRIAULT, J.C., D.J. LAWRENCE & T. PLATT, 1978. Spatial variability of phytoplankton turnover in relation to physical processes in a coastal environment. — *Limnol. Oceanogr.*, 23: 900-911.
- TURNER, J.S., 1973. *Buoyancy effects in fluids*. — Cambridge University Press, New York, 367 p.
- WANGERSKY, P.J., 1977. The role of particulate matter in the productivity of surface waters. — *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 30: 546-564.

- WEBB, K.L. & C.F. D'ÉLIA, 1980. Nutrient and oxygen redistribution during a spring neap tidal cycle in a temperate estuary. — *Science*, 207: 983-985.
- WILKS, S.S., 1935. The likelihood test of independence in contingency tables. — *Ann. math. Statist.*, 6: 190-196.

## FACTORS AFFECTING PHYTOPLANKTON STOCKS AND PRIMARY PRODUCTIVITY AT THE BELCHER ISLANDS, HUDSON BAY

E. H. GRAINGER

Arctic Biological Station  
Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec H9X 3R4

### Résumé

Dans les eaux des îles Belcher, la production primaire estivale atteint un maximum entre 3 et 10 m de profondeur et se limite à la couche de 20-25 mètres. Le taux maximal mesuré est de  $3 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ , taux particulièrement bas en milieu marin. Le cycle phytoplanctonique reflète la séquence normale en eaux froides: diatomées-dinoflagellés. Les diatomées dominent numériquement, avec un maximum de  $3 \times 10^5$  cellules  $\cdot \text{l}^{-1}$  en juin et un deuxième maximum en août. Les populations diminuent durant le mois d'août; ce déclin ne peut être justifié ni par la quantité d'éléments nutritifs présents ni par l'éclairement. Les ciliés, généralement reconnus comme un maillon peu important de la chaîne alimentaire des mers nordiques, deviennent exceptionnellement abondants durant le mois d'août. Ils joueraient alors un rôle significatif dans la chaîne alimentaire, comme prédateurs importants du nanoplankton et du microphytoplancton et comme proies pour le zooplankton omnivore de taille supérieure.

### Abstract

Primary productivity in summer at the Belcher Islands in southeastern Hudson Bay was highest between 3 and 10 m depth, and was restricted to the upper 20-25 m. The maximum rate measured was about  $3 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ , notably low in the range of recorded marine values. The phytoplankton cycle showed the normal cold-water sequence of dinoflagellates succeeding diatoms. Diatoms dominated numerically, reaching maximum numbers of  $3 \times 10^5$  cells  $\cdot \text{l}^{-1}$  in June with a second maximum in early August. Numbers fell drastically during August. The diatom decline could not be accounted for either by the inorganic nutrient supply or subsurface light. Ciliates, not commonly recognized as forming a major link in the food chain in northern seas, became exceptionally abundant at the Belchers during August. It is suggested that they played a significant role in the food chain there, serving as important predators on the nanoplankton and microphytoplankton and as prey for the larger omnivorous zooplankton.

### Introduction

The Belcher Islands are situated in the southeast part of Hudson Bay (56 N, 79 W), about 100 km north of James Bay and west of the coast of Québec. They were for a long time a remote and little known group of islands, and even at the time of our study, the Inuit population of fewer than 200 lived in as undisturbed an environment as any in northern Canada. There was almost nothing known outside the islands about marine life in the surrounding waters and published information was largely restricted to a few observations on seals (Flaherty, 1918; Twomey & Herrick, 1942). Our work formed part of a marine biological study of the Belchers

initiated in 1958 under what was then the Fisheries Research Board of Canada. During two consecutive summer seasons we carried out a number of *in situ* measurements of primary productivity, and they remain the only observations of their kind available from Hudson Bay. Despite the sampling of different sites in each of the two years and the existence of only a short overlap in the two periods of work, the data provide a general description of the annual production cycle of the area.

### Materials and methods

All samples for primary productivity measurement using the  $^{14}\text{C}$  method were collect-

ed in plastic samplers. Experiments were conducted *in situ* by resuspending at their original depths samples inoculated with  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  with activity of  $8 \mu\text{Ci}$  in 1958 and  $4 \mu\text{Ci}$  in 1959. Bottles were used in pairs, one dark and the other clear. In the first year,  $^{14}\text{C}$  solutions and activity determinations were provided by L. Yaffe of the Department of Chemistry at McGill University. In the second year, solutions and counts were supplied by the International Agency for  $^{14}\text{C}$  Determination, Charlottenlund, Denmark. Results of all experiments were expressed as  $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Oxygen was determined using the Winkler titration method, inorganic phosphate according to Robinson & Thompson (1948) and nitrate after Mullin & Riley (1955). Temperatures were measured with calibrated reversing thermometers and salinity by silver nitrate titration, with calculations from Knudsen's tables (G. M. Manufacturing Co., 1962). A Secchi disc was used to estimate the depth of subsurface illumination. Identification

and counts of plant cells and microzooplankton were done by Adam Bursa, using a Utermöhl inverted microscope.

Sixteen sets of field observations were made, five between 22 June and 27 July of the first year and eight between 22 July and 6 September of the second. In 1958, stations were located in Omarolluk Sound, in the northeast part of the islands, in 1959 in Robertson Bay, in the southwest.

## Results

The winter ice cover had begun to clear in southern Hudson Bay by the time of the earliest (June) observations. Drift ice of varying density remained until early July, after which time ice-free conditions prevailed. In the second year, the winter ice cleared away about 2 weeks before the first observations were made in mid-July of that season. Sporadic returns usually of scattered ice only, occurred until the end of July.

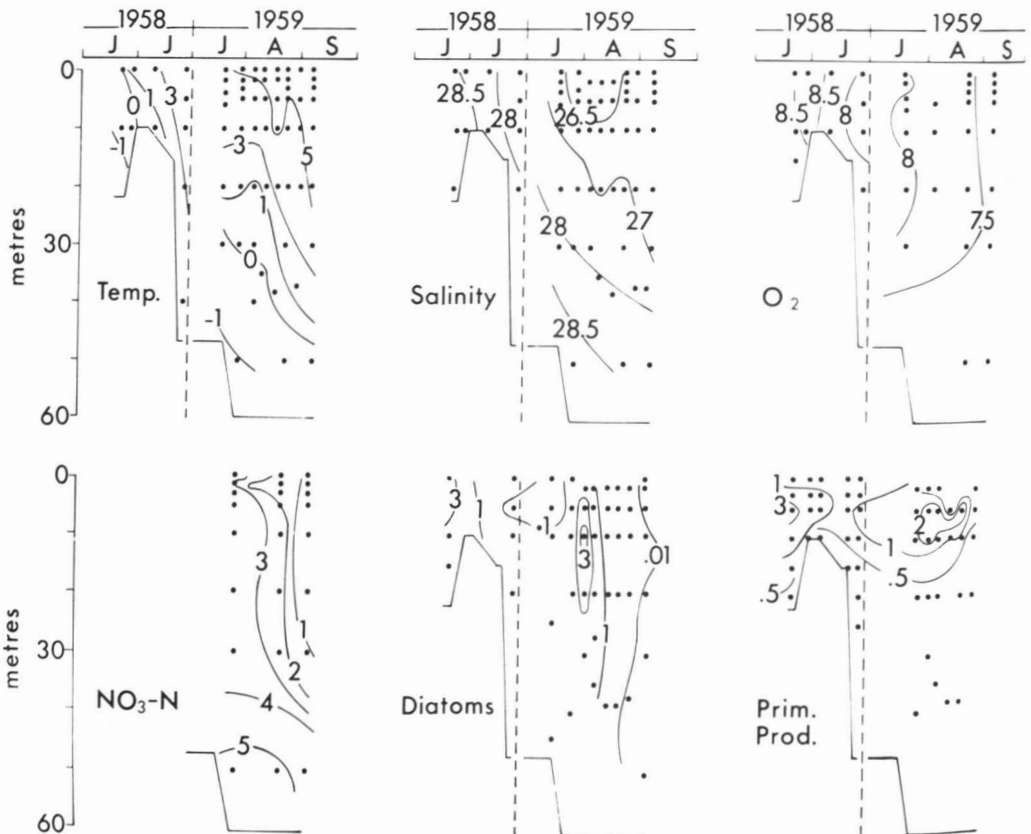


Figure 1. Seasonal variations in water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity ( $\text{‰}$ ), dissolved oxygen ( $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ ), nitrate-nitrogen ( $\mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ ), diatoms ( $\text{cells}\cdot\text{l}^{-1} \times 10^{-5}$ ), and primary productivity ( $\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Water temperatures (Fig. 1) were less than 0°C at all depths in June and they rose to more than 3°C in the mixed upper layers of Omarolluk Sound by late July. In the next year, the highest surface values (nearly 10°C) were found in early August. Deeper waters gradually warmed through the season. Salinity (Fig. 1) fell at most depths through both seasons from about 28.5‰ to less than 26‰. Dissolved oxygen values (Fig. 1) declined through both years, from a little more than 8.5 to less than 7.5 ml · l<sup>-1</sup> in the upper 30 m.

Illumination of sub-surface waters was affected only sporadically by drifting sea ice during both collecting periods. The waters appeared also to have been relatively unaffected by suspended sediments. They were noticeably clear, with the depth of 1% of surface illumination reaching to between 26 and 44 m depth.

Reactive nitrate (Fig. 1) declined during the second season (it was not measured in the first) from between 3 and 4 μg-at · l<sup>-1</sup> to only a little less than 1 μg-at · l<sup>-1</sup> in the upper 20 m. Reactive phosphate remained fairly constant during the same period, generally between about 0.5 and 1.0 μg-at · l<sup>-1</sup> in the upper 20 m. Both nutrients were present through the summer in the upper 20 m, and both were more plentiful below 20 m than above.

Diatom populations, of 2 - 3 × 10<sup>5</sup> cells · l<sup>-1</sup> in late June of 1958, dropped through July (Fig. 1). "Spring" pennate and "summer" centric diatoms were present in approximately equal numbers in June, but at that time the pennate forms were apparently in recession as indicated by the large number of resting spores found. By July, the centric species were dominant. At the beginning of sampling in July 1959, pennate diatoms were few in number, and the centric group were represented by *Chaetoceros* and *Thalassiosira*. By late July, these had declined and they were replaced in the warm waters of early August by a climax of *Skeletonema costatum*, a small centric diatom usually associated with warmer water than is customarily found in the Arctic (Bursa, 1961a). The freshwater diatom *Asterionella* also was present in the nearshore waters sampled in late July. After the first week of August, diatoms decreased numerically and remained few during the rest of the collecting period. Dinoflagellates were less numerous than diatoms, by much more than an order of magnitude,

during nearly the entire collecting period. Only in early September did they become the dominant group.

Coinciding with the August period of decline in diatom numbers, there was a conspicuous development of ciliates, including holotrichs and tintinnids. From fewer than 3 × 10<sup>3</sup> cells · l<sup>-1</sup> at the beginning of August, they increased in number to more than 2 × 10<sup>4</sup> · l<sup>-1</sup> by early September.

The primary productivity rate was measured at more than 3 mg C · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup> at 5 m in late June (Fig. 1). It fell through July then rose at the end of July of the same year. Slightly higher values occurred in late July of the next year and these rose still higher in early August, then dropped through the remainder of the collecting period.

## Discussion

While diatoms were few in number by the beginning of September, dinoflagellates showed a marked numerical increase at that time. This illustrates the form of succession earlier described as typical in arctic marine waters (Bursa, 1963), with however a longer time interval than found in other northern localities (Digby, 1953; Bursa, 1961b), and this is in accord with the relatively long growing period shown for the Belchers.

As diatoms fell in numbers, planktonic ciliates increased conspicuously through August (Fig. 2). The ciliates, including mainly holotrichs and tintinnids, occurred in surprisingly large numbers at the Belchers, reaching concentrations at least as high as 2 × 10<sup>4</sup> · l<sup>-1</sup>, and averaging about 6 × 10<sup>3</sup> · l<sup>-1</sup> over the summer (open water) period. Free-living marine ciliates are nearly all holozoic and are known to feed on bacteria, detritus, diatoms and small flagellates. In turn, they are the prey of a variety of zooplankton, including euphausiids and cladocerans (Raymont, 1963) and copepods (Marshall & Orr, 1955), and of such dinoflagellates as *Gymnodinium* (Bursa, 1961b).

The role of ciliates in the sea has not been well described anywhere, although they are known to be abundant in some marine waters. Off California, they were shown to comprise more than 90% of microzooplankton individuals (Beers & Stewart, 1969). In the same waters, calculated ciliate counts reached a maximum of more than 3 × 10<sup>3</sup> · l<sup>-1</sup> (Heinbokel & Beers, 1979). Estimated annual means of 1.2 × 10<sup>3</sup> · l<sup>-1</sup> from the California



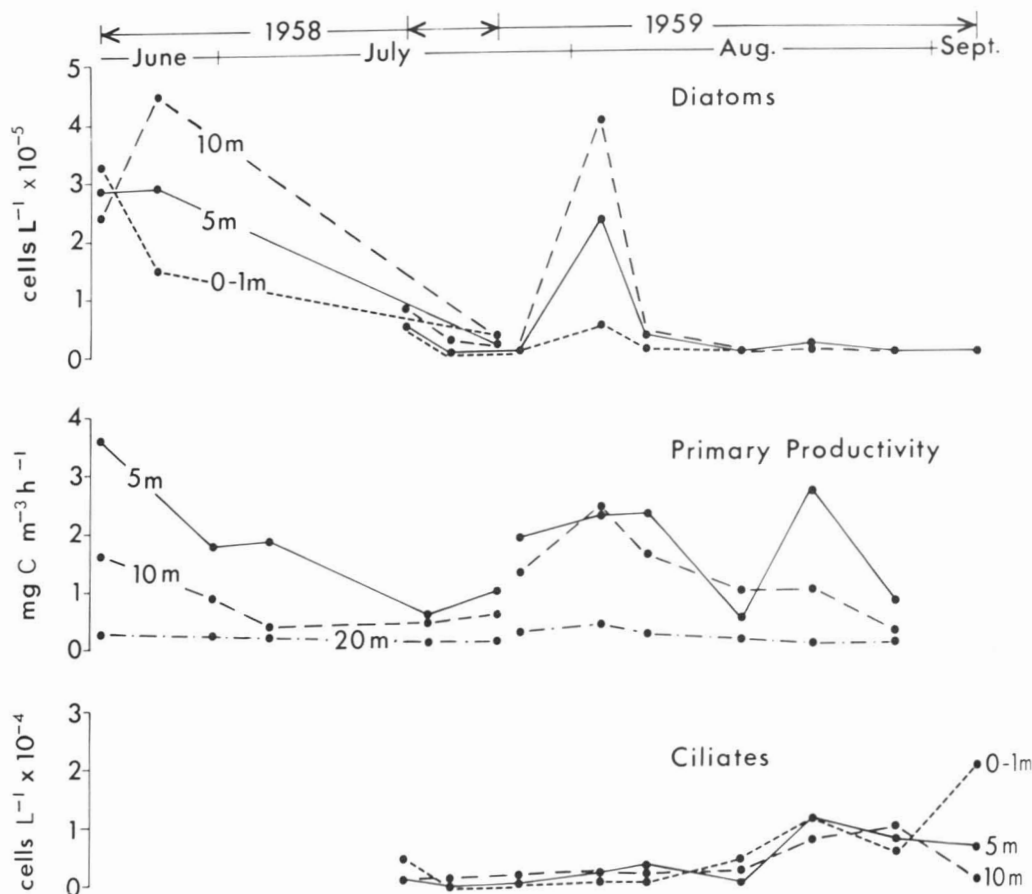


Figure 2. Seasonal variations at selected depths of diatom counts, primary productivity rates and ciliate counts.

coast (Heinbokel & Beers, 1979) and  $2.3 \times 10^3 \cdot l^{-1}$  from the upper 20 m of the central Labrador Sea (Holmes, 1956) indicate standing stocks close to the Belcher level, and substantially higher than the estimated annual mean of around  $8 \times 10^2 \cdot l^{-1}$  determined by Bursa (unpublished data) from the arctic waters of northern Foxe Basin.

It is suggested that grazing was the major cause of the diatom decline in August, occurring at a time when neither subsurface light nor nutrients appeared to play a limiting role. Among the herbivorous macrozooplankton, copepod nauplii had declined by late August, as had polychaete larvae and cirripede nauplii, and only pelecypod larvae had increased in numbers. By late August, the standing stock of herbivorous macrozooplankton was estimated at  $700 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (wet) (author's data), having declined from twice that level since late July. At the same time, the ciliates

were estimated at around  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (wet) (in the upper 10 m, as derived from data in Bogorov, 1959). The ciliates represented a large and probably important proportion of the estimated total standing stock of herbivores.

Off California, Heinbokel & Beers (1979) estimated that ciliates consumed generally about 10% of the autotrophically fixed carbon, and at times as much as 50%. Ciliate numbers at the Belchers were similar to those reported from Californian waters, but primary productivity rates were lower (FAO, 1972). It is reasonable to suppose that the relative consumer role of ciliates at the Belchers was at least as great as and perhaps greater than what was found off California.

The role of ciliates at the Belcher Islands appears to be a much more important one than has been formerly recognized in northern marine waters. They are abundant and

they are potentially important grazers on the primary producers as well as prey for the large zooplankton.

### Acknowledgments

I wish to thank Leo Yaffe for his contribution to the carbon uptake work of the first field season, and Ian McLaren, Stephen Ferguson and others who participated in the field program. Adam Bursa counted and identified plankton and made available many of the biological data used in this paper. Particular thanks are given to Max Dunbar, who initiated the study at the Belcher Islands, and with whom I shared a field season.

### References

- BEERS, J.R. & G.L. STEWART, 1969. Microzooplankton and its abundance relative to the larger zooplankton and other seston components. — *Mar. Biol.*, 4: 182-189.
- BOGOROV, B.G., 1959. On the standardization of marine plankton investigations. — *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 44: 621-642.
- BURSA, A., 1961a. Phytoplankton of the *Calanus* expeditions in Hudson Bay, 1953 and 1954. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 18: 51-83.
- BURSA, A., 1961b. The annual oceanographic cycle at Igloolik in the Canadian Arctic. II. The phytoplankton. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 18: 563-615.
- BURSA, A., 1963. Phytoplankton successions in the Canadian Arctic. — Pages 625-628 in C.H. Oppenheimer (ed.). *Symposium on marine microbiology*. Charles C. Thomas, Springfield, Ill., 769 p.
- DIGBY, P.S.B., 1953. Plankton production in Scoresby Sound, East Greenland. — *J. Anim. Ecol.*, 22: 289-322.
- FAO, 1972. Atlas of living resources of the seas — FAO, Dept. of Fisheries, Rome, 16 p., 120 pl.
- FLAHERTY, R.J., 1918. The Belcher Islands: their discovery and exploration. — *Geogr. Rev.*, 5: 433-458.
- G. M. MANUFACTURING CO., 1962. The determination of chlorinity and the Knudsen method. — G. M. Manufacturing Co., New York, 63 p.
- HEINBOKEL, J.F. & J. BEERS, 1979. Studies on the functional role of tintinnids in the southern California Bight. III. Grazing impact of natural assemblages. — *Mar. Biol.*, 52: 23-32.
- HOLMES, R.W., 1956. The annual cycle of phytoplankton in the Labrador Sea, 1950-51. — *Bull. Bingham oceanogr. Coll.*, no. 16, 74 p.
- MARSHALL, S.M. & A.P. ORR, 1955. The biology of a marine copepod. — Oliver and Boyd, Edinburgh, 188 p.
- MULLIN, J.B. & J.P. RILEY, 1955. The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters with particular reference to sea water. — *Analytica chim. Acta.*, 12: 464-480.
- RAYMONT, J.E.G., 1963. Plankton and productivity in the oceans. — Pergamon Press, Oxford, 660 p.
- ROBINSON, R.J. & T.G. THOMPSON, 1948. The determination of phosphates in sea water. — *J. mar. Res.*, 7: 33-41.
- TWOMEY, A.C. & N. HERRICK, 1942. *Needle to the North*. — Houghton Mifflin, Boston, 360 p.



## THE MACROBENTHIC FAUNA OF THE EASTMAIN ESTUARY (JAMES BAY, QUÉBEC), BEFORE THE DIVERSION<sup>1</sup>

J.-F. GRENON

GIROQ, Département de biologie, Université Laval  
Québec G1K 7P4

### Résumé

La composition, la distribution et l'abondance relative de la faune macrobenthique de l'estuaire de la rivière Eastmain (baie James, Québec) ont été étudiées avant son détournement. La zone dulcicole est caractérisée principalement par les larves d'insectes chironomidés (*Stictochironomus* sp.) tandis que la zone jamésienne est dominée par le mollusque bivalve *Macoma balthica*. Les polychètes *Terebellides stroemi* et *Algaophamus neotenus* y sont relativement abondants. Dans la zone d'eau saumâtre, la densité d'organismes benthiques est très faible; la faune benthique y est constituée d'organismes de deux zones adjacentes. L'analyse en coordonnées principales suggère que la distribution des organismes benthiques est liée à deux facteurs: le gradient de salinité et la teneur en matière organique des sédiments. L'analyse de groupement a mis en évidence différents groupes de prélèvements que déterminent leur composition benthique. La relation entre ces groupes et les paramètres environnementaux est discutée. Des hypothèses quant aux effets possibles des changements des conditions physico-chimiques sur la faune benthique sont émises et constitueront une base de travail pour l'étude post-détournement.

### Abstract

The composition, distribution and relative abundance of the estuarine macrobenthic fauna of Eastmain River estuary (James Bay, Québec) was studied before the diversion of the freshwater flow. The freshwater zone is characterized by the presence of chironomid insect larvae (*Stictochironomus* sp.) while the Jamesian zone is dominated by the bivalve mollusc *Macoma balthica*. The polychaetes *Terebellides stroemi* and *Algaophamus neotenus* are relatively abundant in the latter zone. In the brackish water zone, density of benthic organisms is very low. The benthic fauna of this zone consists of organisms from the two adjacent zones. Principal coordinate analysis suggests that the distribution of benthic organisms is linked to two factors: the salinity gradient and the quantity of organic matter in the sediments. Cluster analysis has evidenced different station-groups characterized by their benthic composition. The relation between these groups and the environmental parameters is discussed. Hypotheses about the possible effects of the hydrodynamics changes on the benthic fauna are given and will constitute the basis of the post-diversion study.

### Introduction

In relation to the hydroelectric project in James Bay, many rivers were and will be dammed. Eastmain River is one of those and was diverted the 19<sup>th</sup> of July 1980, some 160 km upstream, to feed La Grande réservoir (LG-2). The freshwater runoff rate was predicted to decrease by 79% (Prinsenber-

1980). The damming of Eastmain River will undoubtedly modify its natural equilibrium. Several aspects of the oceanography of Eastmain estuary are presently being investigated by GIROQ in order to assess the impact of such a cut-off.

The purpose of the present study is to determine the composition, distribution and abundance of the macrobenthic fauna of Eastmain estuary before the diversion.

In the past, benthic fauna of James Bay has received little attention. Our knowledge

<sup>1</sup>Contribution to the programme of GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).

of the benthos from this area is far from complete. Grainger (1968) listed expeditions which have sampled benthos in Hudson Bay and James Bay. The two most important were the Hudson Bay Expedition of 1920 and later the Calanus expedition of 1953-1954 and 1958-1961 which established the general distribution of the benthic fauna in James Bay. More recently, Wacasey *et al.* (1976) published a data report on the benthic fauna of James Bay including the estuaries of La Grande and Eastmain rivers. Their study included data from the Calanus expedition.

### The Eastmain estuary

Eastmain River spreads eastwards on approximately 720 km, occupies a drainage area of 46,360 km<sup>2</sup> and opens on the southeastern side of James Bay (52°15'N, 78°35'W). The mean flow at Basil Gorge (under natural condition) was 900 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

Eastmain estuary is shallow (mean depth: 4 m) and is approximately 2.25 km wide at the mouth. It can be divided into three zones according to environmental parameters: the freshwater zone (zone 0, Fig. 1) which is characterized by an homogeneous freshwater column and a mean surface temper-

ature of 13.2°C, has low nutrients concentration and a high level of chlorophyll a; zone 1 which has a mean surface temperature of 13.0°C and a mean surface salinity of 3.5‰, is the mixing zone where waters of James Bay meet those of Eastmain River, and finally zone 2 which has a mean surface salinity of 11.6‰ and a mean surface temperature of 12.1°C, is the Jamesian part of the estuary. In zone 2, the water column is stratified, relatively rich in nutrients and poor in chlorophyll a (Grenon *et al.*, 1980).

The freshwater plume was found to extend about 3 km from the mouth and to have a dilution effect over a surface area of James Bay exceeding 100 km<sup>2</sup> (Grenon *et al.*, 1980). The main discharge of the river occurs in a southwesterly direction at the mouth, thus causing high salinity on the northern side of the estuary (Grenon *et al.*, 1980).

In Eastmain estuary, clay and silt are almost in equal proportion in the sediments. Sand is present almost everywhere in the estuary but occurs especially at the mouth on the southern side. Sand is also present in important quantities in that part of the estuary opposite Eastmain village. Gravel is

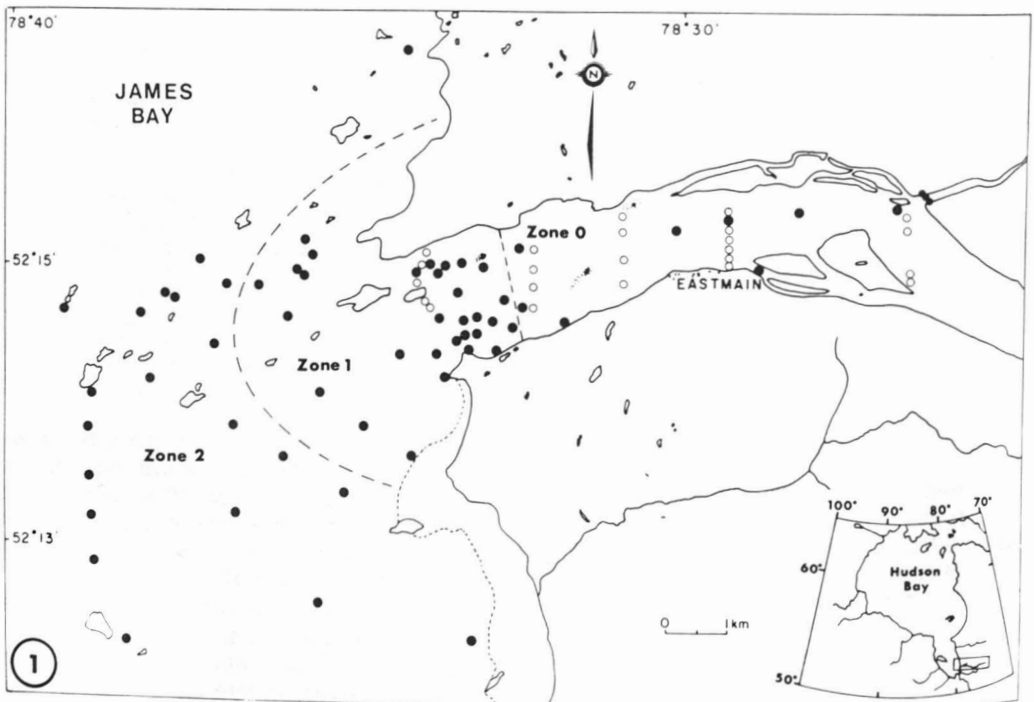


Figure 1. Position of stations sampled in Eastmain estuary. Open circles: stations sampled in 1979; filled circles: stations sampled in 1980.

also present at the mouth of the estuary. The median diameter of the sediments ranges between 0.125 and 9.250 Phi units or from coarse sand to clay while the sorting values vary between 0.44 and 3.80 Phi units (d'Anglejan, 1982). D'Anglejan (1982) has also determined organic carbon content for most stations. For the most western stations (Fig. 1) the values of organic carbon are greater than 1% (1.02-2.20% weight) except for one station. All other stations have values smaller than 1% (0.28-0.75%). Inorganic carbon content (carbonates) is smaller than 2% at the marine stations whilst in the brackish and freshwater stations carbonates represent 3 to 3.5%.

### Material and methods

#### SAMPLING

A total of 91 stations were visited: 25 in 1979 (September) and 66 in 1980 (May to July) (Fig. 1). In 1979, the sampling focused on the freshwater zone, while in 1980, the campaign was concentrated especially on the brackish and the marine zones. Sampling was carried out from the *M.V. L'Épinoche*, a 9 m long catamaran, especially designed for oceanographic studies in shallow waters. Macrobenthic fauna was sampled with a Ponar or a Peterson type grab (sampling area: 625 cm<sup>2</sup>). At the stations where the sediments were more compact, a modified Peterson grab (sampling area: 150 cm<sup>2</sup>) or a core sampler (sampling area: 33.2 cm<sup>2</sup>) was used. Three grabs per station were taken except with the last two sampling gears where an equivalent sampling area was taken. At each station a salinity and temperature profile (STD) was recorded. All the samples were sieved through a 0.5 mm mesh, either on board or on land. The samples were fixed in 5% neutral buffered formaldehyde (Lillie, 1954) containing 0.1% of Rhodamine B, vital stain added to facilitate sorting. After sorting the organisms were preserved in 70% ethanol. The grab samples have been pooled so that each station is to be considered as a single sample.

#### NUMERICAL ANALYSIS

The number of individuals in each sample has been multiplied by the appropriate conversion factor in order to obtain a standard density (no. of individuals/m<sup>2</sup>). Densities were then transformed in log

(y + 1) in order to normalize the data and to stabilize the variance. The coefficient of similarity of Gower (1971) as modified by Fradette & Bourget (1981) has been computed for each pair of stations (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>):

$$S(X_1, X_2) = \frac{\sum_{i=1}^n W_{i12} S_{i12}}{\sum_{i=1}^n W_{i12}}$$

where

$$S_{i12} = 1 - (|Y_{i1} - Y_{i2}| / R_i)$$

$|Y_{i1} - Y_{i2}|$  being the deviation between the densities at stations X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> for species i; R<sub>i</sub> is the maximum dispersion of densities that can take species i amongst all station;  $W_{i12} = 0$  when  $(Y_{i1} + Y_{i2} = 0)$  and  $W_{i12} = \bar{Y}_i / \bar{Y}_{\max}$  when  $(Y_{i1} + Y_{i2} = 0)$ .  $\bar{Y}_i / \bar{Y}_{\max}$  is a weighting factor,  $\bar{Y}_i$  being the mean abundance of species i and  $\bar{Y}_{\max}$  the value for the species with the maximum mean abundance. This weighting factor was introduced by Fradette & Bourget (1981) since the original Gower's similarity coefficient gives the same weight to each species, and since only a few species are abundant in the samples it is preferable to give each species a proportional weight (Legendre & Legendre, 1979b).

This coefficient of similarity has been used to construct a similarity matrix between all pairs of stations. This matrix was then subjected to complete linkage clustering (Sorensen, 1948) and to principal coordinate analysis (Gower, 1966). From the dendrograms of the cluster analysis, only those groups with a similarity level (S) > 0.50 were retained. The two methods (cluster and principal coordinate analysis) were combined so that the groups obtained from classification analysis were superimposed to the ordination of stations in the space of the principal coordinates. In order to relate the ordination of stations to environmental parameters, non parametric  $\tau$  correlation coefficients (Kendall, 1948) were computed.

Species diversity values were computed using Shannon's (1948a,b) formula:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \log_e p_i$$

where  $p_i$  is the proportion of species i in the sample.

## Results

### THE MACROBENTHIC FAUNA

The benthic fauna of the Eastmain estuary totaled 52 species belonging to 8 phyla. The proportion in each phylum was: molluscs, 33.8%; polychaetes, 11.8%; crustaceans, 1.9% and insects, 51.9%. The other phyla represent only 0.6% of the total fauna. The distribution and abundance of the macrobenthic fauna in Eastmain estuary is shown in Figure 2. In the brackish water zone, the density of benthos is very low while in the freshwater and in the Jamesian zone the density is much higher. Molluscs constitute 70.4% of the fauna in the Jamesian zone, polychaetes 24.7% and crustaceans 3.8%. The most abundant benthic organism of the Jamesian zone is the bivalve *Macoma balthica* (L.) (Fig. 3). *M. balthica* is found mainly on the northern side of the estuary, very few specimens being present on the southern side. *Macoma* represents 81.7% of the bivalve population of the estuary while *Mytilus edulis* L. represents 14.7%. Other pelecypods such as *Nucula belloti* Adams, *Nuculana pernula* (Müller), *Pisidium casertanum* (Poli) and *Entodesma* sp. are also present but represent only a small proportion of the total (3.6%). It is interesting to note that empty

shells of *Astarte crenata* (Gray), *Crenella faba* (O.F. Müller), *Lyonsia arenosa* (Müller), *Nuculana minuta* (Fabricius), *Portlandia arctica* (Gray), *Sphaerium simile* (Say), *Yoldia hyperborea*, Loven in Torell, *Yoldiella lenticula* (Müller) and *Musculus* sp. were also found.

Two species of gastropods were sampled: *Cylichna alba* (Brown) and *Margarites olivaceus* (Brown). They represent 80.5% and 19.5%, respectively, of the gastropod population. Empty shells of *Cingula* sp., *Gyraulus* sp. and *Hydrobia minuta* (Totten) were also found.

The next most abundant marine taxon are the polychaetae of which eight species were found. *Terebellides stroemi* Sars constitute 54% of the polychaetae population. Its distribution and abundance are shown in Figure 4. *T. stroemi* is only present in the Jamesian zone, being especially abundant in the northern part. *Aglaophamus neotenus* Noyes which constitutes 25.4% of the polychaete population, is a recently described species (Noyes, 1980). Previously, this polychaete was known only from estuaries of Maine, New Brunswick and Nova Scotia (Noyes, 1980). Its finding in James Bay (Fig. 5) constitutes a range extension of approxi-

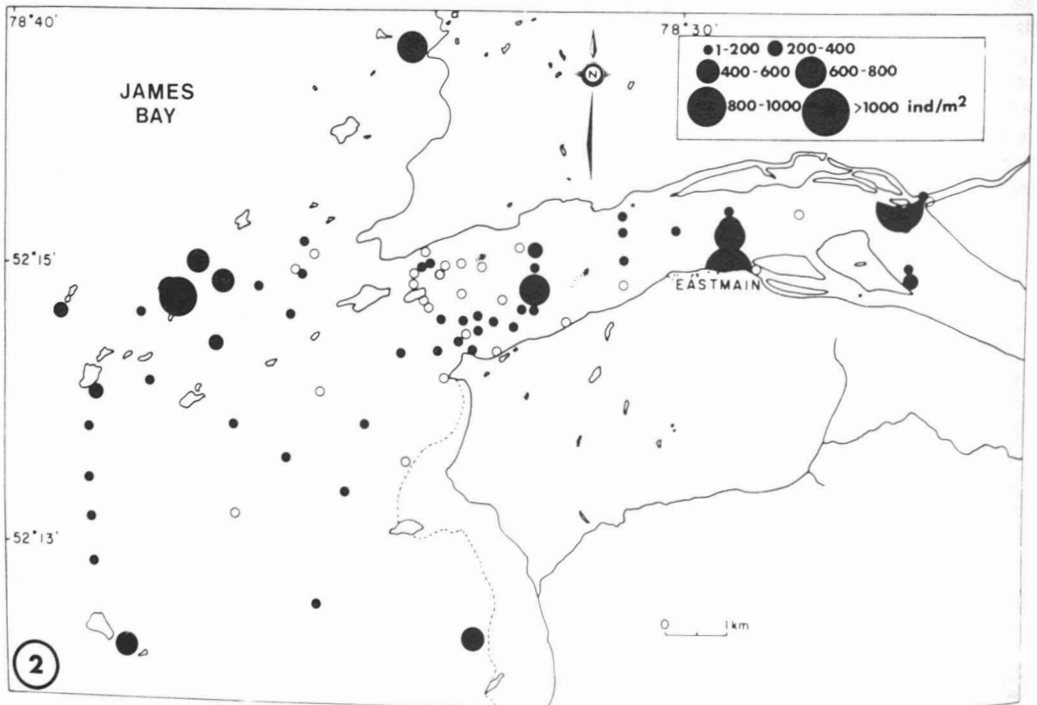


Figure 2. Density of benthic macrofauna in Eastmain estuary. Open circles indicate stations devoid of macrofauna.

mately 1600 km and is the first record of this species for the Québec and arctic regions (Grenon, 1981). *Praxillella praetermissa* (Malmgren) forms 12.8% of the polychaete population. The other species of polychaete *Aglaophamus rubella* (Hartman), *Exogone verugeta* (Claparède), *Scoloplos armiger* (O.F. Müller), *Harmothoe extenuata* (Grube), *Eteone longa* (Fabricius) form 7.6% of the polychaetes sampled in Eastmain estuary. The crustacea are mainly represented by the cumacean, *Diastylis rathkei* (Krøyer) (47.2%). The amphipods *Atylus carinatus* (Fabricius) and *Onisimus littoralis* (Krøyer) represent 24.0% and 19.7% of the crustaceans respectively. Other crustaceans were also sampled, but in very low quantities: *Corophium crassicorne* Burzelius, *Pontoporeia femorata* (Krøyer), *Mysis mixta* Lilljeborg and *Balanus crenatus* Burguinière, representing 9.1% of the crustacean population.

Colonies of the ectoprocts *Alcyonidium gelatinosum* (L.), *Electra crustulenta* var. *arctica* (Borg), *Gemmellaria loricata* (Van Beneden) and *Scrupocellaria scabra* (Van Beneden) were found in the Jamesian zone.

In the freshwater zone, the fauna is clearly dominated by chironomid larvae. They all belong to one genus, *Stictochironomus*.

The densities of these organisms were very high (up to 2500 ind./m<sup>2</sup>). However, density of chironomid larvae generally follow important seasonal variations (Menzie, 1980) and it is possible that the sampling period (1979) coincided with the annual maximum.

#### SPECIES DIVERSITY

Diversity is a measurement of the species composition of an ecosystem in terms of number of species and their abundance (Legendre & Legendre, 1979a). Diversity values ( $H'$ ) are shown for each station in Figure 6. The general trend is that they increase upstream to downstream. The mean diversity for the freshwater zone is 0.28 while for the brackish zone the mean diversity is 0.51. For the Jamesian zone the mean diversity is 0.98.

#### ORDINATION AND CLUSTER ANALYSES

The results obtained from principal coordinate analysis are shown (Fig. 7) for the first two axes. The stations where no organisms were found were omitted from the analysis.

The first axis is significantly correlated with salinity, temperature, sorting of sediments and percentage of organic carbon in the sediments (Table I). Since those variables

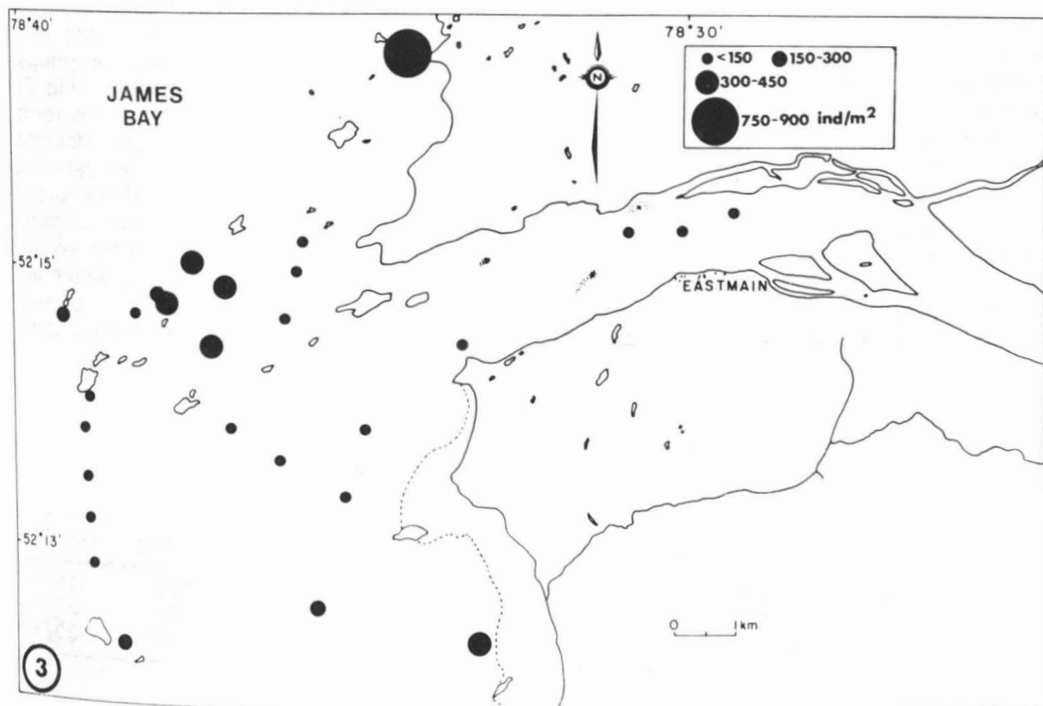


Figure 3. Quantitative distribution of the bivalve *Macoma balthica* in Eastmain estuary.



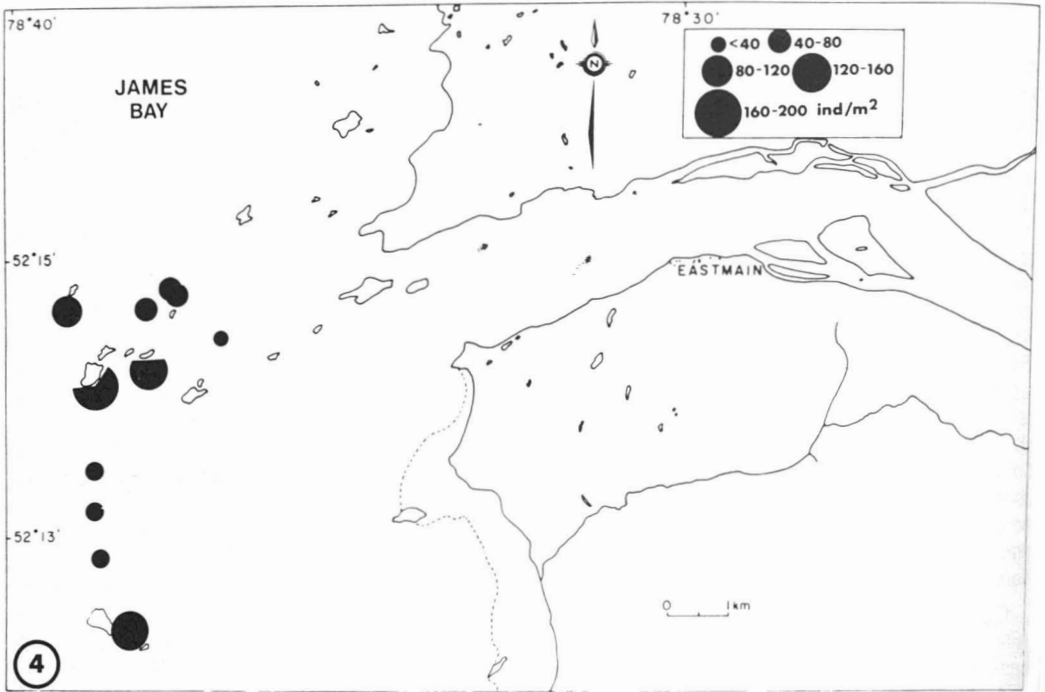


Figure 4. Quantitative distribution of the polychaete *Terebellides stroemi* in Eastmain estuary.

are not apparently linked except for salinity and temperature, it is logical to assume that they all contribute to explain the gradient of axis I. The second axis is positively correlated with temperature and negatively correlated with the percentage of organic carbon in the sediments. Axis III is significantly correlated with salinity and temperature (Table I). The subsequent axes do not yield a high level of information.

Figure 7 also shows the dispersion envelope of the 66 samples according to their geographical position. The Jamesian zone can be clearly distinguished from the mixing and the freshwater zone. It is interesting to see that the dispersion envelope of the mix-

ing zone is included within the one of the freshwater zone indicating that the benthic associations found in the mixing zone are also found in the freshwater zone.

Classification analysis by complete linkage clustering has revealed 7 station-groups, corresponding well to the ordination (Fig. 7). Group A is made of 15 stations and is formed at  $S = 0.68$ . In all those stations, *Macoma balthica* is present but in very low densities ( $D$ ) ( $9 < D < 53$ ). The stations of this group are located at the limit between the Jamesian zone and the mixing zone where the salinity is still fluctuating. At the stations which are more marine, polychaetes are also present but in low densities. Group B which is form-

TABLE I

Kendall's rank correlation coefficient ( $\tau$ )  
between the first three principal coordinates  
and the environmental parameters

Axis	Salinity	Temp.	Gravel	Sand	Silt	Clay	Md $\phi$	Sorting	Org. C.
I	0.46**	-0.52**	-0.20	-0.02	0.22	-0.20	0.12	0.37*	0.53**
II	-0.16	0.29**	0.11	-0.08	0.01	0.03	0.24	0.01	-0.39*
III	-0.29**	0.21*	0.06	-0.16	0.17	0.19	0.12	0.15	-0.07

\*  $0.01 < P \leq 0.05$ .

\*\*  $P \leq 0.01$ .

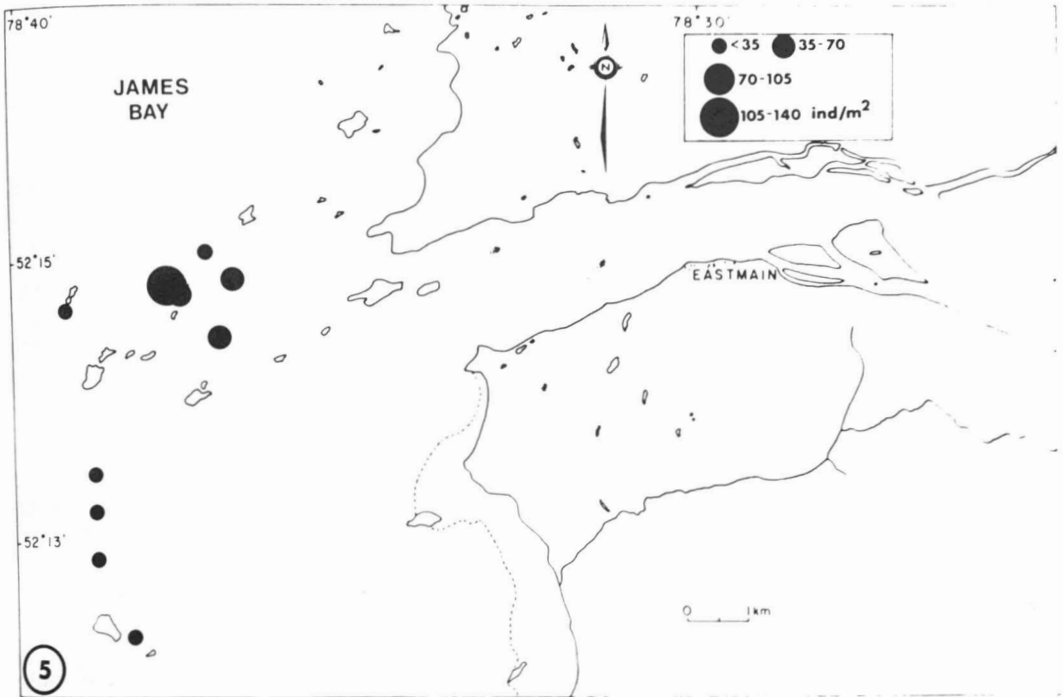


Figure 5. Quantitative distribution of the polychaete *Aglaophamus neotenus* in Eastmain estuary.

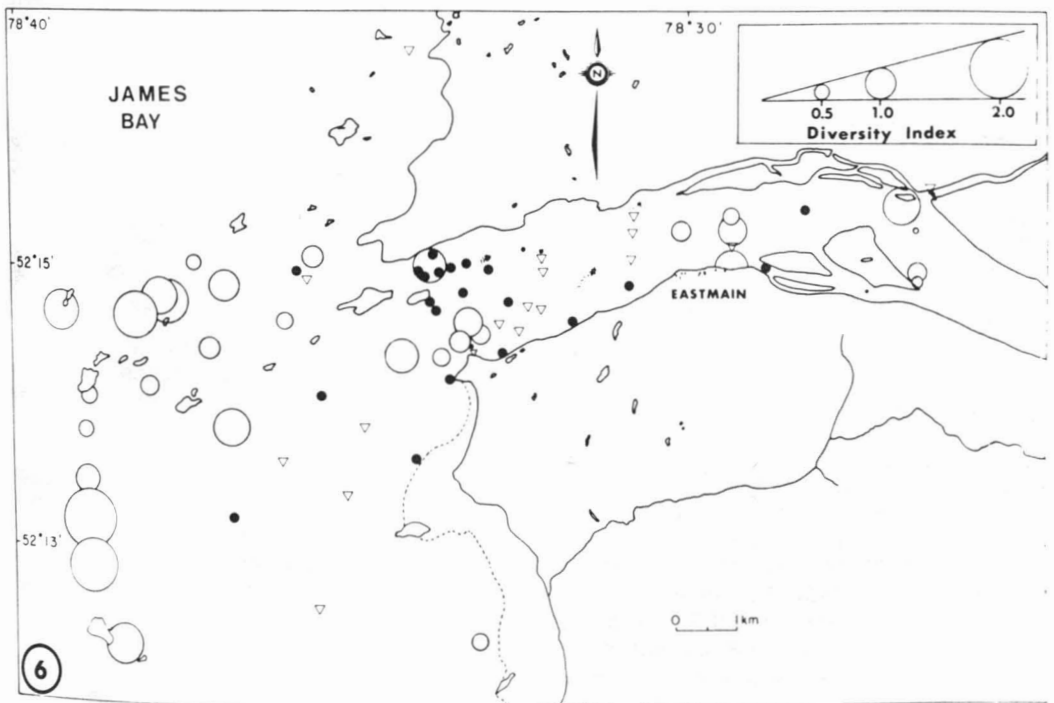


Figure 6. Species diversity ( $H'$ ) of benthic macrofauna in Eastmain estuary. Triangles indicate stations where only one species was recorded. Filled circles indicate stations devoid of macrofauna.

ed at  $S = 0.51$  is made of 10 stations. The main characteristic of this group is the presence of diptera. This group is mainly composed of stations located in the freshwater zone. Group C is formed at  $S = 0.71$  with 6 brackish water stations. The chironomid larvae, *Stictochironomus* sp. are almost the only species in that group. They are, however, present in low densities ( $8 \text{ ind/m}^2$ ). Group D can be distinguished from group C by the presence of *Stictochironomus* sp. at all the stations and in moderate densities ( $16 < D < 160$ ). Group D is formed at the similarity level of 0.66 and is made of a cluster of 13 stations. In that group other diptera are present at a few stations. Stations of this group are overlapping the freshwater and the mixing zones. Another group of stations is formed at the similarity level of 0.50 (group E). This group can be split into two secondary groups,  $E_1$  ( $S = 0.72$ ) and  $E_2$  ( $S = 0.58$ ) which are characterized by moderate densities ( $48 < D < 160$ ) and high densities ( $176 < D < 784$ ) of *M. balthica*, respectively.  $E_1$  is made of 5 stations while  $E_2$  is formed by 9 stations. All these stations are located in the Jamesian zone. Finally, group F is formed at  $S = 0.66$  and is made up of 6 freshwater stations. This group is characterized by high densities of *Stictochironomus* sp. ( $240 < D < 2500$ ).

### Discussion

Two important features emerge from the ordination and cluster analyses of the benthos data of Eastmain estuary: (1) the distribution of benthic organisms is related to the salinity gradient and to the quantity of organic matter found in the sediments, and (2) the distribution is not affected by the type of sediment. The abundances of species varies as a function of the salinity gradient and a certain continuum in the distribution has been evidenced. Clear-cut faunal discontinuities do not occur. It has been shown that species diversity also follows the salinity gradient, increasing from the freshwater zone towards the Jamesian zone. Almost all stations are composed of a silt-clay fraction in association with another fraction (sand, gravel) but in various proportion. For this reason, the different groups isolated by cluster analysis cannot be associated in any meaningful way to sediment types. The dominant species of each group are very versatile in their occupation of different sediment types. Such an observation is

comparable to the studies of Gage (1974) and Larsen (1979) for shallow water benthos.

*Macoma balthica*, which is a species characteristic of arctic and subarctic regions (Ellis, 1960), is the most common species in the Jamesian zone of Eastmain estuary and is less common in the brackish water zone. The same conclusion has been reached by Wolff (1973) for estuaries of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt in the Netherlands. Although *M. balthica* can inhabit low salinities in a stable environment (Lassig, 1965), it is found in very low densities in the mixing zone. Variations of the flow rate of Eastmain River make the mixing zone very unstable. Furthermore *M. balthica* is a selective deposit-feeder (Brafeld & Newell, 1961), feeding on the organic matter present in the sediments. In the brackish water zone quantities of organic matter are low. This could also explain the low densities of *M. balthica* in that zone. As also found by Beanland (1940), Thorson (1957) and Wolff (1973), *M. balthica* is found in all available sediment types.

Together with *M. balthica*, the polychaetes *Terebellides stroemi* and *Aglaophamus neotenus* are the most common species of the Jamesian zone. These polychaetes are both deposit-feeders and this could explain why they are found in that part of the estuary where the level of organic matter is maximum.

What is expected to result from the reduction of freshwater flow into the estuary? Some hypotheses based on the biology of the organisms present in the benthos can be formulated. Spatial changes in the benthic population will occur as a function of: (1) the mode of reproduction of the species, (2) their physiological (osmotic) response to physico-chemical variations and (3) the changes that will occur in the sediments.

As mentioned by Mileikovsky (1971), pelagic development, especially the prolonged forms, provides a much better chance for achieving a wide distribution and for invading new biotopes. Looking at the reproductive biology of the more abundant species it is possible to predict which species may colonize further upstream after the change in the physico-chemical conditions of the estuary associated with damming. *Macoma balthica* has a pelagic mode of reproduction (Jorgensen, 1946) and spawns in spring time (Lammens, 1967). This species would thus be able to rapidly enlarge the limits of its habitat in response to the cut-off.

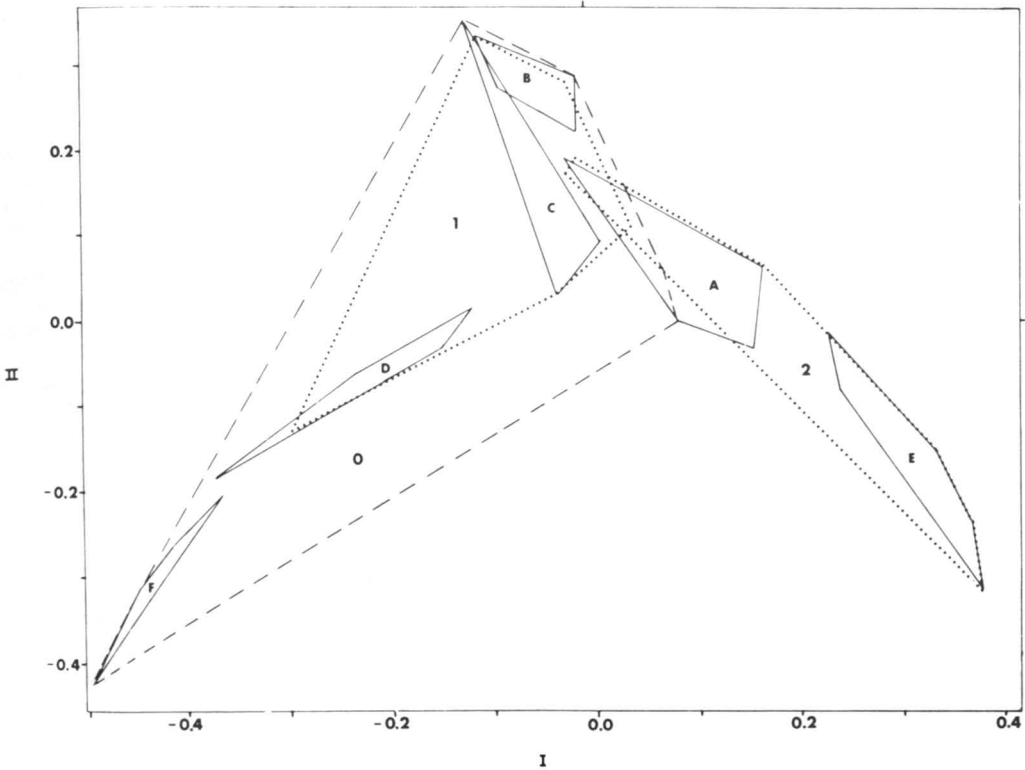


Figure 7. Ordination and clustering of macrobenthos samples of Eastmain estuary. Dispersion envelopes in the plane of the first two principal coordinates obtained after the geographical position of the stations (0: freshwater stations, 1: brackish water stations, 2: Jamesian stations). A — F: envelopes of the groups obtained by cluster analysis.

*Terebellides stroemi* is the second most abundant species in the Jamesian zone. Thorson (1946) has indicated that *T. stroemi*, in Danish waters, has a non-pelagic development in the late autumn. However, Duchêne (1976) has shown that *T. stroemi*, off the coast of Banyuls-sur-Mer (France), has a pelagic development in May but is limited to a few hours, larval development being pursued on the bottom. The observations made by Curtis (1977) for the west Greenland coast seem to support those of Thorson (1946). It seems that, at middle term, the chances of this species migrating upstream with the saline front are poor.

Another important species, *Aglaophamus neotenus*, reproduces by means of a pelagic larva and spawns in spring (Noyes, 1980). Therefore, *A. neotenus* is likely to change its distribution after the cut-off.

Any species with a pelagic mode of reproduction will probably invade new habitats created by the salt penetration upstream more rapidly than those species without such a mode of reproduction.

Changes in the sediments will occur very slowly. This might have a long term effect on the distribution and abundance of the macrobenthic fauna. In summer 1981, however, it will be possible to see some changes in the distribution of the benthic communities since many species present in Eastmain estuary spawn in spring time.

#### Acknowledgments

I wish to thank L. Legendre for criticism of the manuscript and P. Brunel (Université de Montréal) for identification of some species. I am grateful to B. D'Anglejan (McGill University) for allowing me to make the use of unpublished sediment data. I also wish to thank P. Fradette and M. Simoneau for advices on computer programming. This study has been realized under a research contract to GIROQ financed by the *Société d'Énergie de la Baie James*.

#### References

- BEANLAND, F.L., 1940. Sand and mud communities in the Dovey estuary. — J. mar. biol. Ass. U.K., 23: 83-98.

- BRAFIELD, A.E. & G.E. NEWELL. 1961. The behaviour of *Macoma balthica* (L.). — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 41: 81-87.
- CURTIS, M.A., 1977. Life cycles and population dynamics of marine benthic polychaetes from the Disko Bay Area of West Greenland. — *Ophelia*, 16: 9-58.
- D'ANGLEJAN, B., 1982. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary prior to river cut-off. — *Naturaliste can.*, 109: 363-374.
- DUCHÈNE, J.C., 1976. Recherches sur les fonds meubles cirralittoraux au large de Banyuls-sur-Mer. Étude détaillée de *Terebellides stroemi* (Polychète sédentaire). — Thèse de doctorat Univ. Paris, p. 89-122.
- ELLIS, D.U., 1960. Marine infaunal benthos in arctic North America. — *Arct. Inst. N. Am. Tech. Paper no. 5*, 53 p.
- FRADETTE, P. & E. BOURGET, 1981. Groupement et ordination appliqués à l'étude de la répartition de l'épifaune benthique de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent. — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 50: 133-152.
- GAGE, J., 1974. Shallow-water zonation of sea-loch benthos and its relation to hydrographic and other physical features. — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 54: 223-249.
- GOWER, J.C., 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. — *Biometrika*, 53: 325-338.
- GOWER, J.C., 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. — *Biometrics*, 27: 857-871.
- GRAINGER, E.H., 1968. Invertebrate animals. — Pages 351-360 in C.S. Beals (ed.), *Science, history and Hudson Bay*. Ottawa, Department of Energy, Mines and Resources, 501 p.
- GRENON, J.F., 1981. First record of *Aglaophamus neotenus* (Polychaeta: Nephtyidae) for Québec and arctic regions. — *Naturaliste can.*, 108: 111-112.
- GRENON, J.F., J. DODSON, S. OCHMAN, Y. LAMBERT, R.G. INGRAM & B. D'ANGLEJAN, 1980. Programme de recherche sur l'estuaire de la rivière Eastmain (Baie James). Rapport d'étape 1980 et programme 1981. — GIROQ, Rapport à la Société d'Énergie de la Baie James, 134 p.
- JORGENSEN, C.B., 1946. Lamellibranchia. — Pages 227-311 in G. Thorson (ed.), *Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates*. Meddr. Danm. Fisk.-og Havunders., Serie Plankton 4, C. A. København, Reitzel, 523 p.
- KENDALL, M.G., 1948. Rank correlation methods. — Charles Griffin & Co., London, 160 p.
- LAMMENS, J.J., 1967. Growth and reproduction in a tidal flat population of *Macoma balthica* (L.). — *Neth. J. Sea Res.*, 3: 315-382.
- LASSIG, J., 1965. The distribution of marine and brackish water lamellibranchs in the northern Baltic area. — *Comm. Biol. Soc. Sci. Fenn.*, 28: 1-41.
- LARSEN, P.F., 1979. The shallow-water macrobenthos of a northern New England estuary. — *Mar. Biol.*, 55: 69-78.
- LEGENDRE, L. & P. LEGENDRE, 1979a. *Écologie numérique 1. Le traitement multiple des données écologiques*. — Masson, Paris & Les Presses de l'Université du Québec, Montréal, 197 p.
- LEGENDRE, L. & P. LEGENDRE, 1979b. *Écologie numérique 2. La structure des données écologiques*. — Masson, Paris et Les Presses de l'Université du Québec, Montréal, 256 p.
- LILLIE, R.D., 1954. *Histopathological technic and practical histochemistry*. — McGraw-Hill, New York, 541 p.
- MENZIE, C.A., 1980. The chironomid (Insecta: Diptera) and other fauna of a *Myriophyllum spicatum* L. plant bed in the lower Hudson River. — *Estuaries*, 3: 38-54.
- MILEIKOVSKY, S.A., 1971. Types of larval development in marine bottom invertebrates, their distribution and ecological significance: a reevaluation. — *Mar. Biol.*, 10: 193-213.
- NOYES, G.S., 1980. The biology of *Aglaophamus neotenus* (Polychaeta: Nephtyidae), a new species from Maine and Canada. — *Biol. Bull.*, 158: 103-117.
- PRINSENBERG, S.J., 1980. Man-made changes in the freshwater input rates of Hudson and James Bay. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 1101-1110.
- SHANNON, C.E., 1948a. A mathematical theory of communication. — *Bell Syst. tech. J.*, 27: 379-423.
- SHANNON, C.E., 1948b. A mathematical theory of communication. — *Bell Syst. tech. J.*, 27: 623-656.
- SORENSEN, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons. — *Biol. Skr.*, 5: 1-34.
- THORSON, G., 1946. Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates. — *Meddr Danm. Fisk.-og Havunders (Plankton)* 4: 1-523.
- THORSON, G., 1957. Bottom communities. — In *Treatise on marine ecology and paleoecology* Vol. 1, Ecology, chap. 17. *Mem. geol. Soc. Am.* 67: 461-534.
- WACASEY, J.W., E.G. ATKINSON & L. KINLOUGH, 1976. Zoobenthos data from James Bay, 1959-1974. — *Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech., Rep. no. 661*, 62 p.
- WOLFF, W.J., 1973. The estuary as an habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the Rivers Rhine, Meuse, and Scheldt. — *Zool. Verh., Leiden*, 126: 1-242.

# COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE LARVAL AND JUVENILE FISH COMMUNITY OF THE EASTMAIN RIVER AND ESTUARY, JAMES BAY<sup>1</sup>

S. OCHMAN and J. DODSON

*Département de biologie, Université Laval  
Québec G1K 7P4*

## Résumé

La communauté de poissons d'âge 0 de l'estuaire de la rivière Eastmain (baie James) est hautement structurée, selon les dates d'éclosion des larves et, au plan spatial, selon la salinité. La structure de cette communauté durant la période mai-septembre est expliquée par le comportement pélagique ou démersal des larves, leur transport par les courants et le degré de tolérance à l'eau saumâtre des différentes espèces. L'effet à court terme du détournement de la rivière Eastmain fut le transport de larves caractéristiques de la baie James dans les parages de la rivière.

## Abstract

The larval and juvenile fish community of the lower Eastmain river and estuary (James Bay) was highly structured both temporally by date of hatching and spatially by salinity. Community structure throughout the ice-free period is discussed as a function of the pelagic and/or demersal behaviour of larvae after hatching, their transport by currents and the degree to which each species is euryhaline. The major short term effect of the diversion of the Eastmain River was a transport of larvae characteristic of the bay into the river zone.

## Introduction

James Bay is the largest inshore estuary in North America (McHugh, 1967), where surface water, derived mostly from local rivers, is warm and of low salinity in summer and bottom water from Hudson Bay is cold and more saline (Barber, 1972; Grainger & McSween, 1976). Low temperatures and low light availability during the ice-covered period from November to May (Larnder, 1968) create a physically stressed ecosystem.

The site of the present study was the Eastmain River which flows into a relatively shallow (less than 10 m) coastal area of James Bay with a low mean tidal amplitude (1 to 2 m). The discharge of the Eastmain River was reduced by approximately 85% in July 1980 as part of the James Bay hydroelectric development scheme. This caused an inflow of salt water from James Bay into

the river giving rise to a partially mixed estuary (Ingram, 1982).

Although there are several studies dealing with adult fish in James and Hudson Bays (Dymond, 1933; Vladykov, 1933; Hunter *et al.*, 1976; Morin *et al.*, 1980), knowledge concerning the ecology of larval and juvenile fish in these areas is non-existent. The objectives of this study were to describe the species composition, abundance and seasonal sequence of larval and juvenile fish in the lower reaches and estuary of the Eastmain River. Potential effects of the river's diversion on the structure of the juvenile fish community are discussed.

## Materials and methods

Fish larvae and juveniles were sampled from May to September in 1979 and in 1980 in three zones of the Eastmain River and adjacent areas (Fig. 1). The 1979 sampling program was preliminary and exploratory in nature. Sampling began in late May using 0.5 m conical plankton nets mounted on

<sup>1</sup>Contribution to the programme of GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).

Cuban trapezes (Guitart, 1971) and fitted with a no. 0 (0.51 mm) or a no. 10 (0.15 mm) mesh net towed from an inflatable boat. Oblique and surface tows were made with both nets. The plankton nets yielded very few larvae in the river and river mouth. Sampling began after the period of early spring larval drift contributing to the apparent scarcity of larvae. Furthermore, summer-hatching riverine larvae were discovered to be mainly benthic and to occupy shallow littoral regions that were not adequately sampled by seines in 1979. Sampling in the bay was inefficient due to the extent of the sampling zone and bias due to gear avoidance. As a result of these preliminary observations, the 1980 sampling program was greatly modified and improved. Therefore, the results of the 1979 program cannot be quantitatively analyzed and compared to the 1980 program and are presented only as qualitative statements of presence or absence.

In 1980, standard plankton nets were used in May and early June but thereafter a 1.3 m<sup>2</sup> Tucker trawl (Davies & Barham, 1969), equipped with a no. 0 net and an opening and closing device was towed behind a 10 m catamaran. All sampling was carried out during night and twilight hours as night sampling is the most successful and simplest way to overcome bias due to gear avoidance by larvae and juveniles (Clutter & Anraku,

1968). Only samples collected at the beginning of May were collected during the day.

For every sampling period in 1980, twelve fifteen-minute tows were performed consisting of three series of four tows. Each series corresponded to a different state of the tide. In the bay (zone C, Fig. 1) where mean depth was 7 m, two surface and two oblique tows were made while at the river's mouth and in the river, where depths did not exceed 3 m, two surface and two bottom tows were made. Salinity and temperature were recorded at the surface and bottom before and after each series of tows. The Tucker trawl was lowered open but retrieved closed to avoid mangling of the larvae. Towing speed was maintained at 1.2 m/s for the standard plankton nets and 1.8 m/s for the Tucker trawl. A General Oceanics flowmeter was used to measure the volume of water filtered per tow, which varied from 180 to 270 m<sup>3</sup> for the standard plankton nets and from 1100 to 1900 m<sup>3</sup> at the mouth of the Tucker trawl. All samples were preserved in 5% buffered formalin immediately after capture (Richards & Berry, 1973).

Other capture methods included emergent traps (Collins, 1975), placed at the foot of rapids located 7 km from the river's mouth. Two 5 mm-mesh trap nets with a 2.5 cm mesh at the entry to prevent access

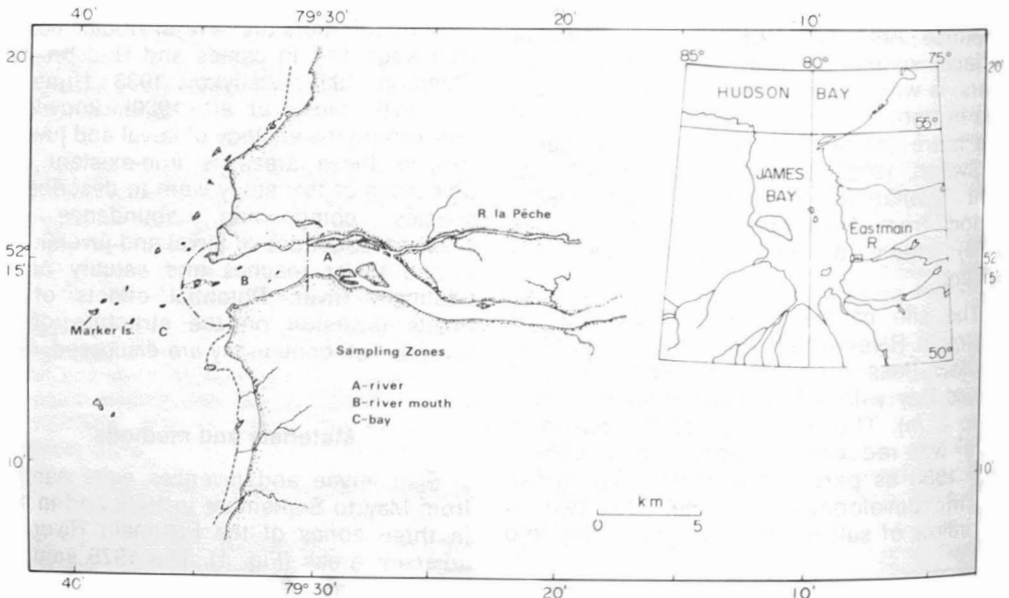


Figure 1. Location of the Eastmain River on the east coast of James Bay and the three major sampling zones.

of larger fish were placed on a protected shoreline of an island at the river's mouth. A fine-meshed (3 mm) beach seine was used during daylight along shorelines adjacent to areas sampled with the plankton nets. Two replicate tows were performed in each zone and salinity and temperature were recorded. The volume of water filtered by seines was estimated from the distance covered along the shore, the mean depth and the spreading of the wings.

All fresh water larvae were identified following Fish (1932). Identification was carried out to the species level using descriptions by Faber (1970) for *Coregonus* sp., by Fuiman (1979) and Fuiman & Witman (1979) for *Catostomus* sp. and by Heufelder & Auer (1980) for *Cottus* sp. All other larvae from the bay were identified following Lacroix & Bergeron (1964) and Khan & Faber (1974). For the genera *Gadus* and *Pholis*, identification to the species level was facilitated by the fact that only *G. ogac* and *P. fasciata* are known to occur in James and Hudson Bay (Hunter, 1968).

Larvae smaller than 20 mm were measured with an ocular micrometer, while the larger specimens were measured with a dial caliper. Precision was to the nearest 0.1 mm in both cases. Standard length was measured for specimens possessing fin folds and also for larger individuals (Berry & Richards, 1973). The term larvae designates the period from hatching to the time when fins are fully differentiated. Thereafter, the term juvenile applies to young of the year fish.

The 1980 plankton net samples were analyzed to detect larval groupings and to determine those environmental variables associated with observed groupings. The Bray & Curtis dissimilarity coefficient (Odum, 1950; Bray & Curtis, 1957), a measure of association appropriate for quantitative abundance data (Legendre & Legendre, 1979), was used to cluster samples; nearest neighbour clustering (Lukaszewicz, 1951; Sneath, 1957) was used to define the larval groups and discriminant analysis of these groups by environmental variables was performed as recommended by Green & Vascotto (1978).

## Results

Plankton nets and beach seines permitted the sampling of both the pelagic and littoral areas of the three sampling zones. The

species composing the catches of both types of gear and their abundance in the three sampling zones are presented in Figure 2.

### PLANKTON NET CATCHES

The twelve species of fish larvae taken by plankton nets cluster into five distinctive groups (Table I). The high degree at which these groups fuse ( $D = 0.998$ , a Bray-Curtis value of 1 indicating completely dissimilar groups) reveals a very small overlap in species composition and abundance. The separation of these five groups on the first two discriminant functions explains 69% and 23% of the intergroup variance. Date of sampling appears on both axes. The importance of date in the discriminant analysis is explained by the obvious sequence of the appearance of larvae with yolk sacs (Fig. 3). Salinity and temperature are the next most important variables influencing group separation along the first and second discriminant axes respectively. Temperature is closely related to the sampling date and salinity is related to the zone from which a particular group of larvae were taken. These physical data are presented in Table I.

Group 1 is represented by larvae of burbot, *Lota lota* and of *Coregonus* spp. These larvae occurred early in the season when water temperatures were lower than 8°C (Table I). They were most abundant in the river (Fig. 2) and present only in surface waters of the bay. At this time, surface salinities never exceeded 4‰ (Table I). Spring break-up on the Eastmain River took place during the first days of May with ice flows continuing well into the second week of May. All burbot larvae and 86% of *Coregonus* spp. larvae were collected between May 5 and May 12. On May 19, the last *Coregonus* spp. larvae were taken at the river mouth. In 1979, no burbot larvae were present in the samples and only 7 *Coregonus* spp. larvae were taken in zone C. Sampling that year did not start until May 27, about 2 weeks after break-up. All burbot specimens had large yolk sacs and measured 4.8 to 6.0 mm. Among the *Coregonus* spp. larvae captured, 27% were *C. clupeaformis*, 43% were *C. artedii* and 30% were not identifiable because of pigmentation loss. The smallest whitefish measured 11 mm and the largest 15.2 mm. The size range for cisco was from 9.5 to 14 mm. Most undamaged larvae still had a yolk sac which diminished in proportion to increasing size, with whitefish larvae greater than 15 mm possessing only a faintly



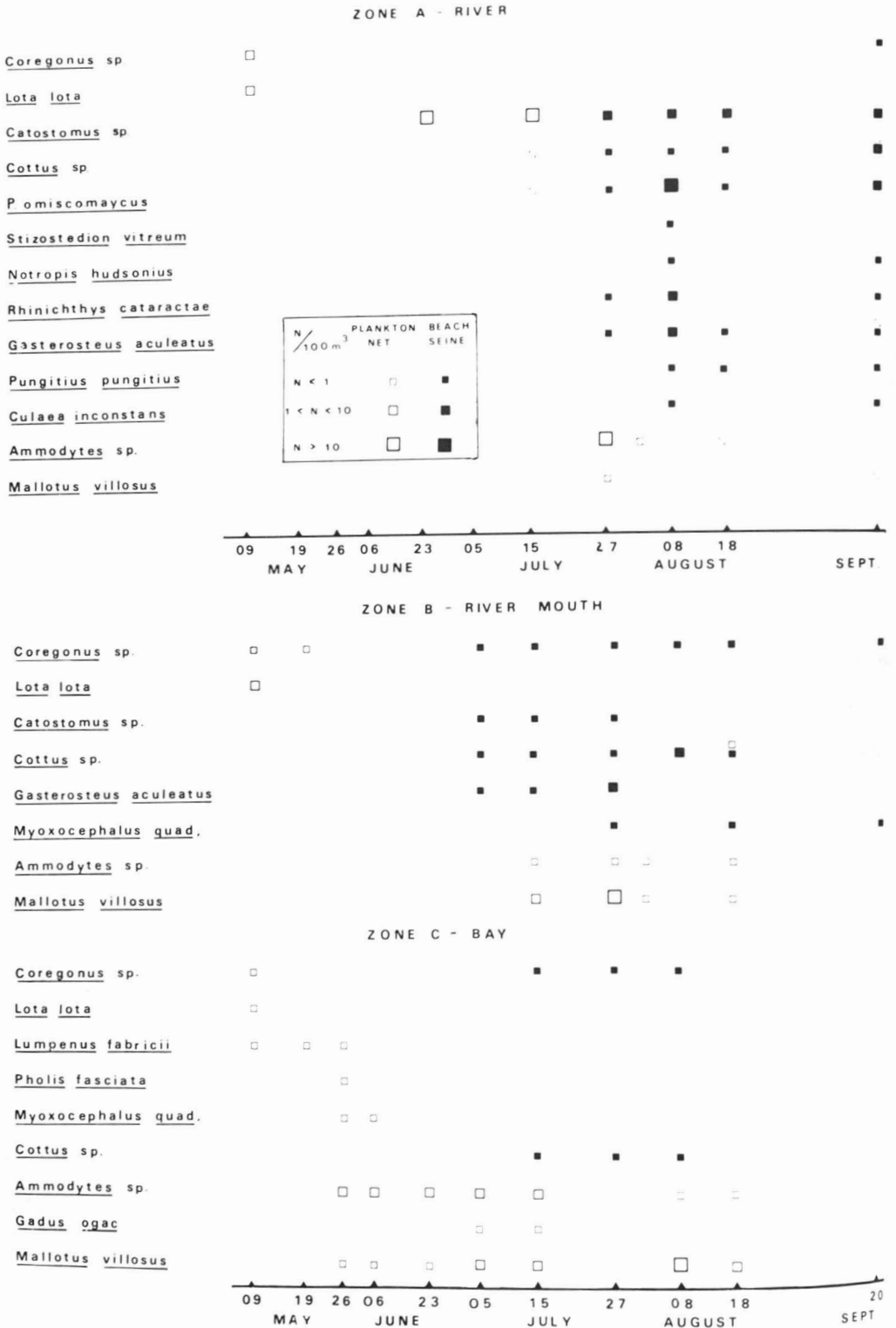


Figure 2. Abundance of young-of-the-year fish during the 1980 field season. The numbers (N) represent the mean values for 12 tows with the plankton nets and 2 tows with the beach seine. No seining was performed in the river on July 5 and 15 and in September, the Tucker trawl was only used in zone A. *M. villosus* taken in the bay in May and June were larger than 42 mm.

TABLE I

Groups of larval and juvenile fish as revealed by cluster analysis with corresponding physical data (medians) of waters from which they were taken (Numbers in brackets are ranges of the indicated physical variable)

	Species	Temperature (°C)	Salinity (‰)
Group 1	<i>Lota lota</i> <i>Coregonus</i> spp.	5.5 (3.0-8.0)	2.0 (0-4.0)
Group 2	<i>L. fabricii</i> <i>P. fasciata</i> <i>M. quadricornis</i>	2.5 (-1.0-6.0)	10.5 (4.0-17.0)
Group 3	<i>C. catostomus</i> <i>P. omiscomaycus</i> <i>Cottus</i> sp.	16 (14.0-18.0)	2.0 (0-4.0)
Group 4	<i>Ammodytes</i> sp. <i>G. ogac</i> <i>M. villosus</i>	10 (5.0-15.0)	12.0 (4.0-20.0)
Group 5	<i>M. villosus</i> <i>Cottus</i> sp. <i>G. aculeatus</i>	10	6 (5.0-7.0)

visible yolk sac. In May, the mean length for whitefish was 12.7 mm while for cisco it was 11.5 mm. By August, juvenile whitefish and cisco had grown to an average length of slightly below 60 mm (Fig. 4).

Group 2 is composed of larvae of the Greenland blenny (*Lumpenus fabricii*), the banded gunnel (*Pholis fasciata*) and the fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis*). Larval capelin (*Mallotus villosus*) which overwintered in the bay and measured more than 42 mm in the spring, were not included in the analysis but can be considered a part of this group. The larvae of group 2 were taken early in the season (May - early June) in oblique tows in the bay. Temperature of these waters ranged from -1 to 6°C and salinity from 4 to 17‰ (Table I). The first larvae present in the bay were Greenland blenny (Fig. 2). The smallest yolk sac specimens measuring 10 mm were captured at the end of May when the largest larvae were already 20 mm long. In 1979, Greenland blenny larvae, measuring 15 to 25 mm, were captured throughout June in the bay. They were never very abundant. Only 5 banded gunnel larvae, measuring between 12 and 16 mm, were taken at the end of May. Fourhorn sculpin larvae, measuring between 11 and 14 mm, were taken for the first time in mid-May. The largest fourhorn sculpin larvae measured 15 mm and was taken at the beginning of June. After this, none were caught until the end of July at the river mouth, in the trap nets and by seining.

The third group is made up of larvae of the longnose sucker (*Catostomus catostomus*), the trout-perch (*Percopsis omiscomaycus*) and of cottids (*Cottus* sp.). This group was captured in the river starting in late June (Fig. 3). By then water temperatures had increased to 14°C (Table I). Mass hatching of longnose sucker larvae started in late June and lasted about two weeks. In 1979, hatching of longnose suckers started around June 19. Water temperatures had already reached 14°C by this date. Longnose sucker larvae were even caught in surface waters of the bay at low tide, salinity not exceeding 4‰. Trout-perch larvae were taken by the Tucker trawl in mid-July. The smallest measured 9.5 mm indicating a recent hatching (Norden, pers. comm.), probably some time at the beginning of July or end of June. *Cottus* sp. larvae hatched at the end of June. The smallest ones measured 9 mm. At this time, they were taken in emergent traps, but by mid-July *Cottus* sp. young were caught by the Tucker trawl indicating downstream transport. Although *C. cognatus* was identified, *C. bairdii* must not be excluded as a possibility. Larval *C. ricei*, their entire bodies covered with small prickles, were also captured in July and August. A description of this cottid is in preparation.

Group 4 is composed of larvae of sandlance (*Ammodytes* sp.), ogac (*Gadus ogac*) and capelin (*Mallotus villosus*). They were taken in surface and oblique tows in the bay where salinities ranged from 4 to 20‰.

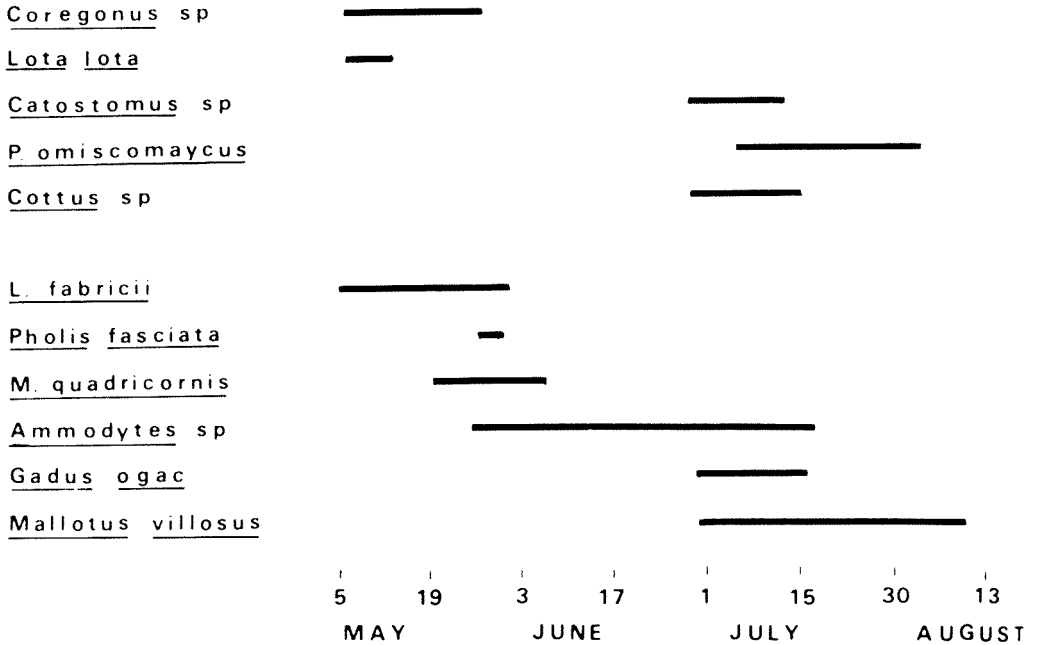


Figure 3. Dates representing time when yolk sac larvae were captured. The first five species were taken mainly in the river, while the six others were taken in the bay. *Cottus* sp. and *P. omiscomaycus* larvae were not yolk sac but were smaller than 12 mm indicating a recent hatching.

(Table I). Sand lance larvae appeared at the lower temperature limit of group 4 (5°C) at the end of May. They were taken only in two samples with larvae of group 2. Larvae with yolk sacs were caught until mid-July (Fig. 3). The beginning of July marked the arrival of larvae of capelin and ogac. By mid-July, ogac larvae were no longer captured, while yolk sac larvae of capelin were taken until the first week of August. The presence of sand lance and capelin larvae in zones A and B (Fig. 2) was associated with the intrusion of saltwater following the diversion of the Eastmain River in July, as these larvae were not captured in zones A and B in 1979.

Large capelin larvae, juveniles of threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, and cottids are characteristic of group 5. They were taken in September in zone A (Fig. 2), when temperatures were 10°C and salinity averaged 6‰ (Table I).

#### BEACH SEINE CATCHES

The young of some species of fish from zone A were only caught by seines (Fig. 2). The littoral distribution of walleyes (*Stizostedion vitreum*), spottail shiners (*Notropis hudsonius*), longnose dace (*Rhinichthys cataractae*), threespine sticklebacks (*Gas-*

*terosteus aculeatus*), ninespine sticklebacks (*Pungitius pungitius*) and brook sticklebacks (*Culaea inconstans*) explains the absence of the young of these species from plankton net catches. These species are associated with the larvae and juveniles of species belonging to group 3 (Table I). Furthermore, juveniles of longnose sucker, trout perch and *Cottus* sp. were also taken by seines in shallow littoral areas. At the end of July and in August, these species were taken from waters for which the mean temperature was 20°C and the mean salinity was 3.5‰. In September, temperature had dropped to 13°C with salinity remaining around 4‰.

In zone B, juvenile whitefish and ciscos were taken starting in early July. They were most abundant at the river mouth along with juvenile fourhorn sculpin, which were taken exclusively in this zone. Larvae and juveniles of longnose suckers and juveniles of threespine sticklebacks were also taken in this zone. Fresh water was typical of shoreline areas at the river mouth before the river's diversion but thereafter salinities of up to 12‰ were recorded. In zone C, *Coregonus* sp. and *Cottus* sp. juveniles were taken in areas along island shores where salinities did not exceed 16‰.

## Discussion

The larval fish community of the Eastmain river and estuary was observed to be highly structured both temporally and spatially. Hatching of fish species at this northern latitude was spread over three months with larvae of groups 1 and 2 hatching in May and larvae of groups 3 and 4 hatching in June and July. The temporal and spatial separation between larval groupings, related to water temperature (date) and salinity, has the obvious advantage of spreading predation on the available food supply over the ice-free period and thus may serve the purpose of reducing interspecific competition. Although the time and location of adult spawning is of prime importance in governing the initial structure of any larval fish community (Balon, 1975a), the maintenance of that structure and the subsequent distribution of young-of-the-year throughout the system is a function of the behaviour and mode of life of larvae after hatching, the role of river and tidal currents in transporting larvae to or maintaining them in nursery areas and the physiological capacity of each species to inhabit brackish waters. The following discussion deals with the role of these factors in contributing to the community structure observed in the Eastmain estuary and lower river.

Larvae of burbot, whitefish and cisco hatched in May in the river and were captured in all three zones. The peak of the passive migration of these larvae in the river, through the estuary and into the bay occurred during the first two weeks after spring break-up. The 4.8-6.0 mm-long specimens of burbot were not yet able to feed due to the presence of their enormous yolk sac that rendered prey capture unlikely. Thus, they may be called burbot eleutheroembryos (Balon, 1975b). Observation of burbot eleutheroembryos in aquaria showed that they swim relentlessly but start to sink as soon as they stop swimming. A pelagic life after hatching is typical of all common gadoids (Faber, 1967). In the case of burbot, such behaviour at the time of spring runoff explains their capture in the surface waters of James Bay. At this size, they were probably carried for a considerable distance into the bay.

Most downstream movement of *Coregonus* sp. larvae may occur at night when they lose their orientation and even slow currents displace them (Lindroth, 1957).

Lindroth calculated that under the most favorable conditions whitefish larvae could travel some 80 km in one day. Although Hoagman (1973) and John & Hasler (1956) demonstrated that feeding for both whitefish and cisco started long before yolk sac absorption, they found that larvae of both species can survive up to one month on their yolk sacs. In the present study, the examination of 30 *Coregonus* spp. larvae caught in the river revealed no visible gut contents. It is therefore probable that *Coregonus* spp. larvae do not start feeding until they reach the bay.

The transport of group 1 larvae into the bay is probably a mechanism to exploit the greater availability of food in the bay than in the river at this time of year. In ice-covered seas, algae released from the ice adds to the phytoplankton bloom and results in the observed algal increase under melting ice (Legendre *et al.*, 1981). In the Arctic, the ice-algal bloom and the spring phytoplankton bloom are clearly separated in time (Apolonio, 1965). The diatoms present under the ice are a potential food source for fish larvae arriving early in the spring before phyto- and zooplankton peaks in June as water temperatures increase. Although it is reported that young-of-the-year whitefish tend to concentrate at the surface in shallow inshore areas for the first two months of their life (Hart, 1930; Reckahn, 1970), sampling in shallow coastal areas of James Bay, along foreshore flats and at the river mouth in May and June revealed that this was not the case for Eastmain *Coregonus* spp. larvae. The absence of larvae in these inshore areas and in the river supports the idea that larvae are transported far into the bay (Morin *et al.*, 1981), probably in conjunction with the melting pack ice that remains in the bay until late June. In July, however, juvenile coregonids are taken in zones B and C. The intensity of spring runoff, the action of the tides (Godin, 1974) and high northwest wind events (Godin, 1975) all play a role in timing their return to these zones. Therefore, the bay and later the river mouth, can be considered as nursery areas for larval and juvenile coregonids, even though few were captured. This apparent scarcity of juvenile coregonids has been noticed in other studies (Pritchard, 1931; Edsall, 1960; Lindström, 1970).

The first summer's growth of juvenile coregonids in the Eastmain (Fig. 4) is inferior to that noted for more southerly populations. In Lake Huron, Reckahn (1970) reported

mean lengths of 120 mm for whitefish in October and Lassus (1967) reported that one-year old whitefish averaged 146 mm in the St. Lawrence River. *C. lavaretus* attain a length of 100 mm by the end of their first summer in Swedish rivers (Lindroth, 1957). However, Dumont & Fortin (1978) found one-year old whitefish in two lakes in the James Bay area averaged 90 mm, indicating a growth rate inferior to that of Eastmain whitefish. Stomach content analysis of Eastmain coregonids revealed that juveniles fed mainly on the abundant copepods in brackish waters. Thus, the faster growth of anadromous whitefish juveniles relative to the oligotrophic lake populations may be attributed to a plentiful food source whereas their generally poorer growth relative to more southerly populations may be attributed to a shorter growing season.

Larvae of Greenland blenny, banded gunnel and fourhorn sculpin (group 2), present in May and early June in zone C, probably hatched under the ice prior to and during its receding from the bay. Larvae of group 2 live pelagically after hatching, but their absence from plankton net catches later in June may be explained by a change to the more demersal life-style typical of these species. In late May, *Ammodytes* sp. larvae appeared in the surface waters of the bay. They were small (< 7 mm) in comparison to larvae of group 2 (> 11 mm) and therefore competition between them was probably minimized.

Larvae of longnose suckers, trout perch and *Cottus* sp. (group 3) started hatching at the end of June as water temperatures increased to 14°C. This corresponds to a

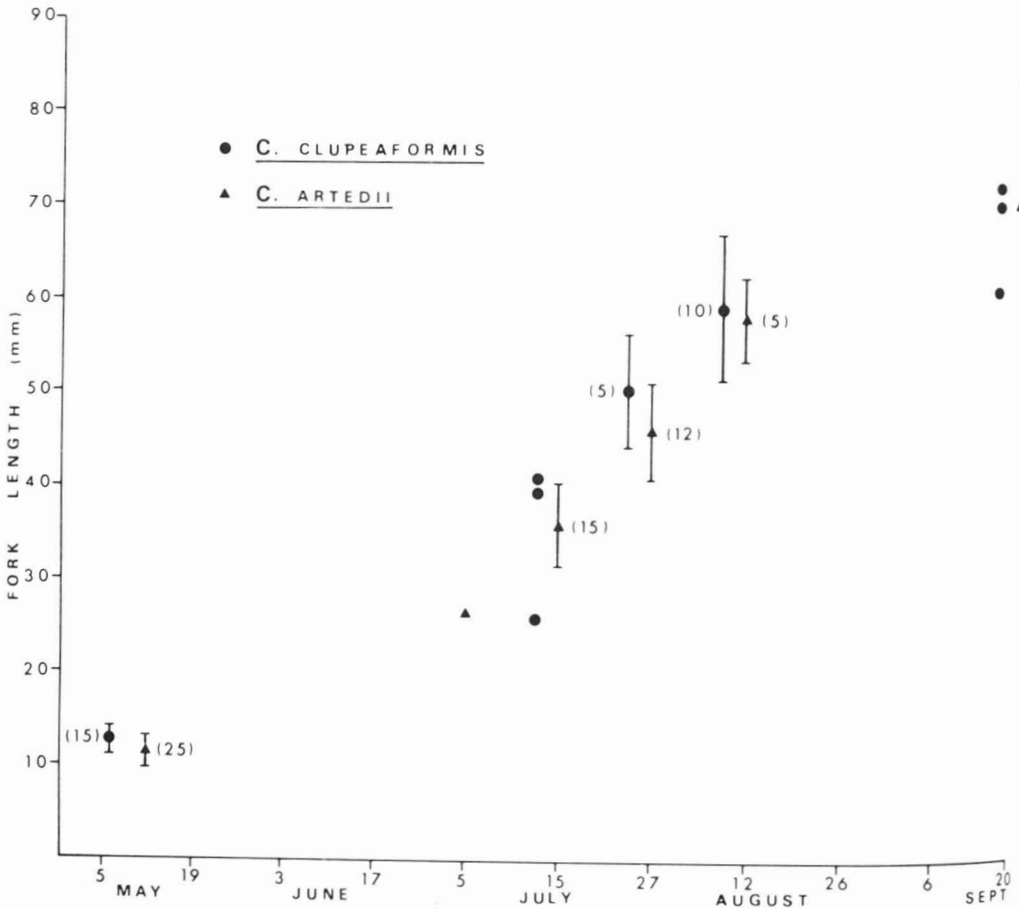


Figure 4. Growth rate of *Coregonus* sp. Standard length is given for larvae taken in May. Numbers in brackets indicate numbers of specimens measured and vertical bars represent standard deviations calculated only for samples of five fish or more. Solitary points represent the lengths of individual fish.

period when adequate quantities of food started to be available in the Eastmain River itself. As Lillelund (1965) has noted, it is advantageous for fish to hatch at a temperature greater than 10 C as plankton production in his riverine study sites did not start at temperatures less than 10 C. The capture of these species in plankton nets and seines followed by seine captures only suggests that these larvae live pelagically before changing to a more demersal way of life.

During their pelagic phase, downstream drift into brackish water was observed for the larvae of group 3. Although most downstream movement of larval suckers has been observed to occur between dusk and dawn (Geen *et al.*, 1966), longnose sucker larvae were observed drifting in the Eastmain during the day. All larval Cottidae are pelagic for a time before they settle to the bottom (Taranets, 1941) and such transport was observed in the Eastmain River. As a result of downstream transport, juvenile longnose suckers extended their habitat into the river mouth in salinities up to 12‰ and juvenile cottids extended their habitat into all three zones in salinities up to 16‰. Trout perch larvae and juveniles appeared to be the least tolerant of salinity of the group and remained in fresh water.

The juveniles of walleye, spottail shiner, longnose dace and the three species of sticklebacks occupied riverine littoral habitats with only the threespine stickleback extending into the shallow areas at the river's mouth. None of the larvae of these species were captured, most likely due to their hatching further upstream or in habitats inaccessible to our sampling methods. After diversion of the river, all these species were captured in salinities up to 4‰. Juvenile threespine sticklebacks were the most euryhaline being captured in salinities up to 12‰.

The most evident short term impact of the diversion of the Eastmain River was the entry into zone A and B at high tide of larvae of species characteristic of the bay (group 4: sand lance and capelin). The capture of capelin, *Cottus* sp. and the three-spine stickleback (group 5) in zone A in September may be indicative of the species that will inhabit this area in the future along with the more euryhaline species of other groups.

Survival of fish larvae and eggs will be determined by their ability to survive such effects of dams as conditions of low oxygen, high siltation and altered seasonal temper-

ature patterns (Baxter & Glaude, 1980). Fish belonging to guilds of non-guarding lithophils (for example: whitefish, suckers, walleyes) will be more affected than guarding speleophils (*Cottus* sp.) and ariadnophils (sticklebacks) (Balon, 1975a). Larvae of species that present a pelagic behaviour for some time after hatching will be affected by the decrease in flow because their transport to downstream nursery areas will be compromised. They will not extend their habitat as fast and will be concentrated close to spawning grounds, increasing intraspecific competition. Furthermore, the species of young fish that will use the lower reaches of the Eastmain River as nursery areas will have to adapt their requirements to the altered physical conditions. The most euryhaline species will adapt most readily. Date of hatching will still be important in separating temporally the major groups of larvae but their spatial separation will be reduced.

### Acknowledgments

We wish to thank Louis Belzile for his assistance in the field and all those who contributed to the difficult task of collecting data in the north. Dan Faber and Lou Van Guelpen helped in the identification of fish larvae. This project was funded by a grant from the Société d'Énergie de la Baie James. We wish to thank the Eastmain Cree for their cooperation throughout the study.

### References

- APOLLONIO, S., 1965. Chlorophyll in arctic sea ice. — *Arctic*, 18: 118-122.
- BALON, E.K., 1975a. Reproductive guilds of fishes: a proposal and definition. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 32: 821-864.
- BALON, E.K., 1975b. Terminology of intervals of fish development. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 32: 1663-1670.
- BARBER, F.G., 1972. James Bay oceanography. — *Can. Dept. Env. Ms. Rep. Ser.*, 24: 1-96.
- BAXTER, R.M. & P. GLAUDE, 1980. Environmental effects of dams and impoundments in Canada: experience and prospects. — *Can. Bull. Fish. aquat. Sci.*, no. 205, 34 p.
- BERRY, F.M. & W.J. RICHARDS, 1973. Characters useful to the study of larval fishes. — Pages 48-65 in A. Pacheco (ed.), *Proceedings of a workshop on egg larval and juvenile stages of fish in Atlantic coast estuaries*. Middle Atlantic Coastal Fisheries Center. Tech. Publ. no. 1, 338 p.
- BRAY, R.J. & J.T. CURTIS, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. — *Ecol. Monogr.*, 27: 325-349.

- CLUTTER, R.I. & M. ANRAKU, 1968. Avoidance of samplers. — Pages 57-76 in Zooplankton sampling. UNESCO, Monographs on oceanographic methodology, Geneva, Switzerland, 174 p.
- COLLINS, J.J., 1975. An emergent fry trap for lake spawning salmonines and coregonines. — *Progve Fish Cult.*, 37: 140-142.
- DAVIES, I.E. & E.G. BARHAM, 1969. The Tucker opening-closing micronection net and its performance in a study of the deep scattering layer. — *Mar. Biol.*, 2: 127-131.
- DUMONT, P. & R. FORTIN, 1978. Quelques aspects de la biologie du grand corégone, *Coregonus clupeaformis*, des lacs Hélène et Natalie, territoire de la baie James. — *Can. J. Zool.*, 56: 1402-1411.
- DYMOND, J.R., 1933. The coregonine fishes of Hudson and James Bay. — *Contr. Can. Biol. Fish.*, 8: 1-12.
- EDSALL, R.A., 1960. Age and growth of the whitefish, *Coregonus clupeaformis* of Munising Bay, Lake Superior. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 89: 323-332.
- FABER, D.J., 1967. Limnetic larval fish in north Wisconsin lakes. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 24: 927-937.
- FABER, D.J., 1970. Ecological observations of newly hatched lake whitefish in South Bay, Lake Huron. — Pages 481-500 in C.C. Lindsey & C.S. Woods (eds.), *Biology of coregonid fishes*. Univ. of Manitoba Press, Winnipeg, Manitoba, 560 p.
- FISH, M.P., 1932. Contributions to the early life histories of 62 species of fishes from lake Erie and its tributary waters. — *Bull. U.S. Bur. Fish.*, 10: 293-398.
- FUIMAN, L.A., 1979. Descriptions and comparisons of catostomid fish larvae: northern Atlantic drainage species. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 108: 560-603.
- FUIMAN, L.A. & D.C. WITMAN, 1979. Descriptions and comparisons of catostomid fish larvae: *Catostomus catostomus* and *Moxostoma eurythrum*. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 108: 604-619.
- GEEN, G.H., T.G. NORTHCOTE, G.F. HARTMAN & C.C. LINDSEY, 1966. Life histories of two species of catostomid fishes in Sixteenmile Lake, British Columbia, with particular interest to inlet stream spawning. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 23: 1761-1788.
- GODIN, G., 1974. The tide in eastern and western James Bay. — *Arctic*, 27: 105-110.
- GODIN, G., 1975. Les vagues de tempête dans la baie James. — *Naturaliste can.*, 102: 219-228.
- GRAINGER, E.M. & S. McSWEEN, 1976. Marine zooplankton and some physical chemical features of James Bay related to La Grande hydroelectric development. — *Can. Fish. Mar. Serv. Res. Div. Tech. Rep. no. 650*, 94 p.
- GREEN, R.H. & G. L. VASCOTTO, 1978. A method for the analysis of environmental factors controlling patterns of species composition in aquatic communities. — *Water Res.*, 12: 583-590.
- GUIART, M.D., 1971. Un nuevo sistema para armar redes de ictioplancton. Ichthyoplankton UNESCO Symp. — *Inv. Res. Caribbean Sea, Adj. Regions*, p. 449-460.
- HART, J.L., 1930. The spawning and early life history of whitefish, *Coregonus clupeaformis* (Mitchill), in the Bay of Quinte, Lake Ontario. — *Contr. can. Biol. Fish.*, 6: 165-214.
- HEUFELDER, G.E. & N.A. AUER, 1980. A comparison of *Cottus bairdii* and *Cottus cognatus* from southeastern Lake Michigan. — *Proc. Fourth. Annual. Larval Fish. Conference*, p. 58-68. Oxford, Mississippi.
- HOAGMAN, W.J., 1973. The hatching, distribution, abundance, growth and food of the larval lake whitefish (*Coregonus clupeaformis* Mitchell) of central Green Bay, Lake Michigan. — *Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm*, 53: 1-20.
- HUNTER, J.G., 1968. Fishes and fisheries (in Hudson Bay). — Pages 360-378 in C.S. Beals (ed.), *Science, history and Hudson Bay*. Dep. Energy, Mines and Resources, Ottawa, 2 vol., 1058 p.
- HUNTER, J.G., B.T. KIDD, R. GREENDALE, R. BAXTER & R. MORIN, 1976. Fisheries resources of the lower reaches and coastal regions of Eastmain, La Grande, Roggan and Great Whale rivers from 1973 to 1975 — Pages 299-322 in James Bay Environment Symposium Proceedings, Société de développement de la Baie James, Montréal, 883 p.
- INGRAM, R.G., 1982. Mean and tidal circulation of the Eastmain River (James Bay) — *Naturaliste can.*, 109: 733-743.
- JOHN, R. & A. HASLER, 1956. Hatching and survival of young cisco, *Leucichthys artedii* Le Sueur, in Lake Mendota, Wisconsin. — *Limnol. Oceanogr.*, 1: 176-194.
- KHAN, N.Y. & D.J. FABER, 1974. A comparison of larvae of the deepwater and fourhorn sculpin, *Myoxocephalus quadricornis* L. from North America. I. Morphological development. — Pages 703-712 in J.H.S. Blaxter (ed.), *The early life history of fish*. Springer Verlag, New York, U.S.A., 765 p.
- LACROIX, G. & J. BERGERON, 1964. Prélèvements de larves de poissons dans le sud-ouest du golfe Saint-Laurent. — *Rapp. ann. Sta. Biol. mar. Grande-Rivière, Dir. Pêches marit. Québec*, 1963, p. 25-37.
- LARNDER, M.M., 1968. The ice. — Pages 304-318 in C.S. Beals (ed.), *Science, history and Hudson Bay*. Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 2 vol., 1058 p.
- LASSUS, C., 1967. Biologie du corégone de lac (*Coregonus clupeaformis* Mitchell) du fleuve

- Saint-Laurent dans la région de Québec. — Mémoire de maîtrise. Univ. Montréal, 120 p.
- LEGENDTRE, L. & P. LEGENDRE, 1979. Ecologie numérique. Tome 2. La structure des données écologiques. — Masson, Paris, et les Presses de l'Université du Québec, 248 p.
- LEGENDTRE, L., G. INGRAM & M. POULIN, 1981. Physical control of phytoplankton production under the ice (Manitounuk Sound, Hudson Bay). — Can. J. Fish. aquat. Sci., 38: 1385-1392.
- LILLELUND, K., 1965. Effect of abiotic factors in young stages of marine fish — Pages 673-686 in ICNAF Environ. Symp. Spec. Publ. no. 6, 912 p.
- LINDROTH, A., 1957. A study of the whitefish (*Coregonus*) of the Sundsvall Bay district. — Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm, 38: 70-108.
- LINDSTRÖM, T., 1970. Habitats of whitefish in some north swedish lakes at different stages of life history. — Pages 461-479 in C.C. Lindsey & C.S. Woods (eds.). Biology of coregonid fishes. Univ. of Manitoba Press, Winnipeg, 560 p.
- LUKASZEWICZ, J., 1951. Sur la liaison et la division des points d'un ensemble fini. — Colloquium math., 2: 282-285.
- McHUGH, J.L., 1967. Estuarine nekton. — Pages 581-620 in G.M. Lauff (ed.). Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Washington D.C., 727 p.
- MORIN, R., J. DODSON & G. POWER, 1980. Estuarine fish communities of the eastern James-Hudson Bay coast. — Env. Biol. Fish., 5: 135-141.
- MORIN, R., J. DODSON & G. POWER, 1981. The migrations of anadromous cisco (*Coregonus artedii*) and lake whitefish (*C. clupeaformis*) in estuaries of eastern James Bay. — Can. J. Zool., 59: 1600-1607.
- ODUM, E.P., 1950. Bird populations of the highlands (North Carolina) plateau in relation to plant succession and avian invasion. — Ecology, 31: 587-605.
- PRITCHARD, A.L., 1931. Spawning habits and fry of the cisco (*Leucichthys artedii*) in Lake Ontario. — Contr. Can. Biol. Fish., 9: 1-16.
- RECKAHN, J.A., 1970. Ecology of young lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in South Bay, Manitoulin Island, Lake Huron. — Pages 437-460 in C.C. Lindsey & C.S. Woods (eds.). Biology of coregonid fishes, Univ. of Manitoba Press, Winnipeg, 560 p.
- RICHARDS, W.J. & F.M. BERRY, 1973. Preserving and preparing larval fishes for study. — Pages 12-19 in A. Pacheco (ed.). Proceedings of a workshop on egg, larval and juvenile stages of fish in Atlantic coast estuaries. Middle Atlantic Coastal Fisheries Center. Tech. Publ. no 1, 338 p.
- SNEATH, P.M.A., 1957. The application of computers to taxonomy. — J. gen. Microbiol., 17: 201-226.
- TARANETS, A.Y., 1941. On the classification and the origin of the family Cottidae. [Transl. from Russian by N.J. Wilimovsky & E. Janz.]. — Inst. Fish. Univ. of British Columbia, Museum Contr. no. 5. 1959. 28 p.
- VLADYKOV, V.D., 1933. Biological and oceanographic conditions in Hudson Bay. Fishes from the Hudson Bay region (except the Coregonidae). — Contr. Can. Biol. Fish., 8: 13-61.





# STRUCTURE ET RÔLE DES FACTEURS PHYSIQUES DANS LE MAINTIEN DES COMMUNAUTÉS ESTUARIENNES DE POISSONS DE LA BAIE JAMES<sup>1</sup>

Y. LAMBERT et J. DODSON

Département de biologie, Université Laval  
Québec G1K 7P4

## Résumé

La superposition d'un groupement à liens complets à une analyse en coordonnées principales a permis d'établir sept groupes physiques distincts caractérisant l'estuaire de la rivière Eastmain (baie James, Québec), pendant l'été. Les différences inter-groupes sont reliées à la température et la salinité. Une analyse discriminante a montré que huit espèces de poissons sont diagnostiques de ces groupes et les séparent selon leurs densités relatives. Dans l'ensemble, 48,8% des prélèvements biologiques sont correctement classés dans leur groupe d'origine, les pourcentages les plus élevés correspondant à la période où les déplacements des espèces migratrices et la reproduction sont à leur minimum. La structure saisonnière de cette communauté est expliquée partiellement par les variables physiques du milieu et par un complexe d'interactions entre ces variables et les fonctions biologiques telles la reproduction, les migrations et la préférence d'habitat.

## Abstract

The estuary of the Eastmain River (James Bay, Québec), studied during the spring, summer and fall of 1979, was divided temporally and spatially into seven physical groups using multivariate analyses. Inter-group differences were related primarily to temperature and salinity. Using biological data collected throughout the same season, discriminant analyses revealed that the physical groups were characterized by eight species of fish and could be separated according to the relative densities of these fish. In general, 48.8% of the fish samples were correctly classified in their physical group of origin. The greatest percentage of fish samples correctly classified corresponded to that part of the season when the movements of migratory species and reproduction was at a minimum. It was concluded that the structure of the Eastmain estuarine fish community was only partially explained by the physical regime. Much of the variability observed was due to a variety of interactions between physical variables and specific biological functions such as migration, reproduction and habitat selection.

## Introduction

Il est bien démontré qu'il existe des variations saisonnières de distribution, d'abondance et de diversité dans les communautés estuariennes de poissons, en réponse aux paramètres physiques du milieu ainsi qu'aux facteurs biotiques (McErlean *et al.*, 1973; Haedrich & Haedrich, 1974). Livingston *et al.* (1976) notent que les fonctions biologiques telles que l'alimentation et la repro-

duction peuvent jouer un rôle important dans la structure de la communauté, mais que l'abondance des espèces est dépendante d'un complexe d'interactions entre les variables physiques et les paramètres biologiques. Selon Oviatt & Nixon (1973), certains facteurs biologiques tels que la compétition et la prédation sembleraient plus importants que les seuls paramètres physiques dans la régulation de la distribution des espèces. Enfin, Copeland & Bechtel (1974) considèrent que la température et la salinité sont les deux paramètres physiques importants dans les estuaires, et qu'ils semblent expliquer au moins partiellement la distribution des espèces.

<sup>1</sup> Contribution au programme du Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ).

Il existe quelques études qui décrivent les communautés estuariennes de la côte est de la baie James, région du Moyen Nord québécois (Moreau & Legendre, 1979; Morin *et al.*, 1980). Les objectifs de la présente étude sont d'établir la structure saisonnière de la communauté estuarienne de la rivière Eastmain (baie James, Québec) et d'évaluer l'importance des paramètres physiques dans le maintien de la structure de cette communauté.

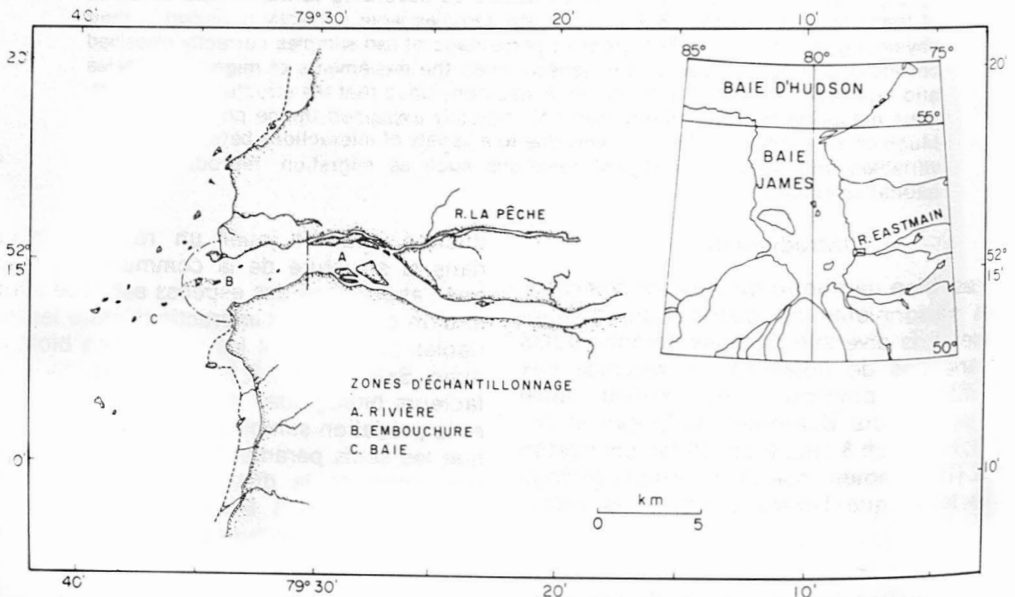
### Matériel et méthodes

La rivière Eastmain, située sur la côte est de la baie James, a un débit moyen annuel de  $603 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  et un bassin versant de  $46,4 \times 10^3 \text{ km}^2$  (fig. 1). La débâcle a lieu autour du 20 mai, en moyenne (Wilson, 1971). La partie inférieure de la rivière est peu profonde et coule sur un fond argileux. L'estuaire a été divisé en trois régions distinctes pour les fins d'échantillonnage et chaque région regroupe plusieurs stations qui ont été visitées régulièrement de mai à août 1979 (fig. 1).

Les poissons ont été capturés avec des filets maillants expérimentaux multifilament de 45,7 m de longueur, de 2,4 m de hauteur et comportant 6 panneaux dont la maille (étirée) varie de 25 à 102 mm. Un filet était posé à chaque station durant 24 heures et était relevé toutes les 6 heures. À chaque levée, la date, l'heure et le nombre de pois-

sons de chaque espèce étaient notés, en même temps que la température, la salinité et la conductivité, ces derniers paramètres étant mesurés au fond et à la surface. L'état de marée était calculé pour chaque prélèvement selon l'expression  $\frac{1}{2} (1 + \cos m \pi)$  où  $m$  représente l'intervalle de temps entre l'heure du prélèvement et l'heure des marées hautes et basses (Legendre & Simard, 1978). La longueur, le poids, le sexe et l'état de maturité étaient déterminés pour chaque poisson capturé. Les captures sont exprimées en prises par unité d'effort (PUE), l'unité d'effort étant définie comme 6 heures de pêche d'un filet maillant expérimental.

Le groupement par agglomération hiérarchique à liens complets et l'analyse en coordonnées principales ont été utilisés pour réunir les sites de prélèvement physiquement semblables. L'utilisation simultanée des deux méthodes permet de reproduire de façon exacte les relations entre les objets (prélèvements physiques) les plus rapprochés et de les positionner correctement dans un espace réduit (Legendre & Legendre, 1979). Le groupement à liens complets réalisé à partir du coefficient de Gower (Gower, 1971), calculé sur les descripteurs physiques notés à chaque prélèvement de six heures, permet de voir quels descripteurs sont reliés entre eux et ainsi de former différents groupes selon le niveau de similarité obtenu. Les paramètres physiques utilisés pour ces analy-



ses sont la température et la salinité de surface et du fond, la profondeur maximale étant toujours entre 2 et 2,5 m. Tout comme Copeland & Bechtel (1974), nous considérons que ces paramètres physiques sont importants et qu'ils peuvent expliquer une partie de la distribution des espèces.

L'analyse en coordonnées principales permet de positionner dans un espace réduit les prélèvements physiques et par le fait même la position respective des divers groupes obtenus par le groupement, selon les axes de la plus grande variation. Les coordonnées principales sont par la suite interprétées en termes de variables physiques à l'aide de corrélations non-paramétriques ( $\tau$  de Kendall) entre les différentes variables physiques et les coordonnées principales (Legendre & Simard, 1979). Par la suite, les corrélations partielles calculées selon la formule

$$\tau_{12,3} = \tau_{12} - \tau_{13} \tau_{23} / \sqrt{(1 - \tau_{13}^2)(1 - \tau_{23}^2)}$$

dégagent la relation qui existe entre deux descripteurs physiques ou entre un descripteur et une des coordonnées principales tout en enlevant l'influence que pourraient avoir les autres descripteurs sur cette corrélation (Legendre & Legendre, 1979).

L'analyse discriminante faite à partir des prises par unité d'effort des différentes espèces associée à chacun des groupes obtenus précédemment un assemblage d'espèces particulier. Les fonctions discriminantes résultant de l'analyse, permettent de reconnaître les espèces qui maximisent les différences entre les groupes tout en minimisant la variabilité à l'intérieur de chaque groupe (Moreau & Legendre, 1979). Le pourcentage des prélèvements biologiques correctement classés dans chacun des groupes à la suite de l'analyse discriminante, évalue l'importance des facteurs physiques dans la définition de la communauté estuarienne.

Ces diverses analyses ont été réalisées à l'aide des logiciels NT-SYS (Rohlf *et al.*, 1974) et SPSS (Nie *et al.*, 1975) ainsi que de programmes en langage FORTRAN.

### Résultats

La superposition du groupement à liens complets à l'analyse en coordonnées principales établit sept groupes physiques distincts (fig. 2). Le niveau de similarité entre les prélèvements à l'intérieur de chaque groupe est toujours supérieur à 0,725. Chacun

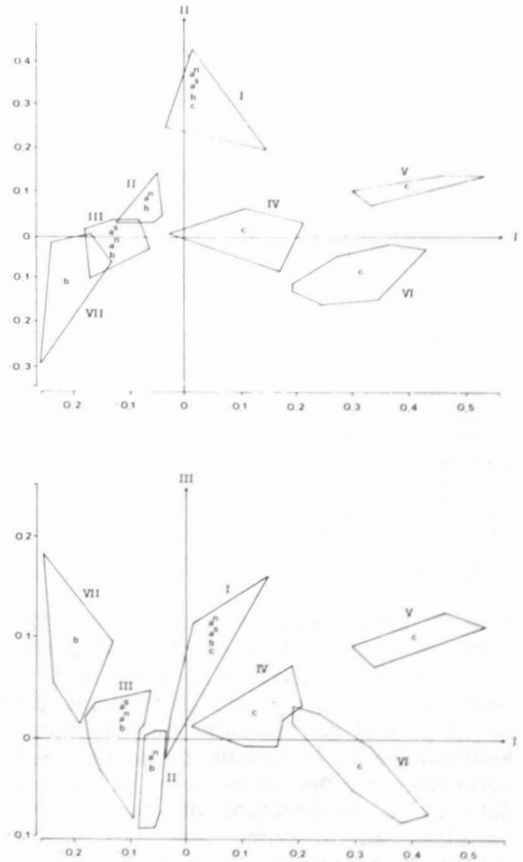


Figure 2. Représentation graphique des groupes obtenus par le groupement à liens complets, selon les trois premiers axes d'ordination. Les lettres à l'intérieur des groupes indiquent l'appartenance des prélèvements physiques obtenus dans les régions A, B et C (fig. 1) à chacun des groupes; A<sup>N</sup> représentant le côté nord et A<sup>S</sup> le côté sud de la région A. La position des groupes selon les deux premières coordonnées principales est représentée en (a) et selon la première et troisième coordonnée principale en (b).

des axes résultant de l'analyse en coordonnées principales est fortement corrélé avec certaines variables physiques (tableau I). Le premier axe est corrélé à la date, la température et la salinité de surface et du fond. Si on élimine l'effet de la température du fond par le calcul des corrélations partielles, la corrélation entre le premier axe et la température de surface diminue (-0,12); la température de surface serait donc liée à la température du fond et ne serait corrélée au premier axe que par l'intermédiaire de cette dernière. De même, l'élimination successive des autres variables indique que la

TABLEAU I

Corrélations ( $r$  de Kendall) entre les variables physiques échantillonnées dans la région de la rivière Eastmain pendant l'été 1979 et entre les trois premières coordonnées principales (C1 à C3, voir figure 2)

Variables physiques	Heure	Temp. surf. (°C)	Sal. surf. (‰)	Temp. fond (°C)	Sal. fond (‰)	Marée	C1	C2	C3
Date	-0,04	0,30*	0,12*	0,25*	0,14	-0,01	0,10*	-0,44*	-0,13*
Heure		0,06	0,02	0,03	0,01	0,00	-0,01	-0,06	0,03
Température surface (°C)			-0,20*	0,83*	-0,22*	0,03	-0,65*	-0,49*	0,26*
Salinité surface (‰)				-0,29*	0,92*	0,01	0,57*	-0,17*	0,11*
Température fond (°C)					-0,32*	0,01	-0,73*	-0,40*	0,14*
Salinité fond (‰)						0,01	0,59*	-0,14*	0,12*
Marée							-0,01	0,04	0,05

\* fortement corrélé

date, la température et la salinité du fond sont les seules variables pour lesquelles les corrélations avec le premier axe varient peu. Le calcul des corrélations partielles permet de constater que la date, la température et la salinité de surface sont corrélées au deuxième axe et que la date et la température de surface sont corrélées au troisième axe. Les valeurs moyennes de ces descripteurs montrent la séparation des sept groupes selon les trois axes principaux (tableau II). Les prélèvements des trois régions de l'estuaire durant

l'été sont donc associés à ces groupes sur la base de leurs similarités physiques (tableau III).

Au cours de la période d'échantillonnage, 1 854 poissons représentant 17 espèces ont été capturés à l'aide de filets maillants expérimentaux. Selon les abondances relatives, les espèces les plus fréquentes sont: le cisco (*Coregonus artedii*) avec 36% des prises totales; le grand corégone (*C. clupeaformis*) avec 11%; le doré jaune (*Stizostedion vitreum*), 23%; le meunier rouge (*Ca-*

TABLEAU II

Valeurs moyennes et valeurs extrêmes entre parenthèses, de la température et de la salinité dans les sept groupes

Groupe	Température surface (°C)	Salinité surface (‰)	Température fond (°C)	Salinité fond (‰)
I	8,4 ( 6,5 - 10,2)	0,7 (0,0 - 4,9)	8,2 ( 5,1 - 10,2)	1,0 ( 0,0 - 6,7)
II	13,2 (12,0 - 14,0)	0,3 (0,0 - 1,6)	13,3 (12,0 - 14,0)	0,3 ( 0,0 - 1,7)
III	15,5 (14,2 - 17,5)	0,3 (0,0 - 2,6)	15,4 (14,0 - 17,0)	0,4 ( 0,0 - 2,6)
IV	14,4 (12,0 - 15,6)	4,0 (1,0 - 8,0)	12,3 ( 9,5 - 14,5)	8,8 ( 4,1 - 13,5)
V	8,9 ( 7,3 - 11,6)	9,1 (5,6 - 11,7)	5,1 ( 3,3 - 7,0)	14,0 (12,6 - 15,4)
VI	13,8 (12,0 - 16,0)	11,7 (6,5 - 15,2)	13,1 (11,0 - 15,0)	13,1 (10,1 - 17,0)
VII	18,8 (17,5 - 21,0)	0,2 (0,0 - 1,7)	18,4 (17,5 - 21,0)	0,3 ( 0,0 - 3,4)

*tostomus catostomus*), 19% et le chaboisseau à quatre cornes (*Myoxocephalus quadricornis*), 7%.

L'analyse discriminante a été faite sur les sept groupes physiques à partir des densités relatives de chaque espèce capturée à chaque prélèvement. Elle permet de séparer chacun des groupes selon la composition spécifique des peuplements de poissons (fig. 3). La première fonction discriminante explique 43,8% de la variabilité inter-groupes et quatre espèces sont diagnostiques pour cette fonction (tableau IV). Les deuxième et troisième fonctions discriminantes expliquent respectivement 20,6 et 16,5% de la variance avec trois et cinq espèces importantes. Dans l'ensemble, 48,8% des prélèvements biologiques sont correctement classés à la suite de l'analyse discriminante. Le succès de prédiction d'appartenance d'un prélèvement à son groupe physique d'origine varie de 26,7 à 56,0% (tableau V). À chaque groupe physique correspond donc un assemblage de poissons caractérisé par la densité moyenne de chacune des espèces (tableau V).

**Discussion**

Sept groupes physiques décrivent les variations temporelles et spatiales de l'estuaire de la rivière. Chacun de ces groupes est caractérisé par des espèces de poissons qui sont diagnostiques des trois premières

TABLEAU III

Périodes et régions de l'estuaire associées à chacun des groupes physiques pour l'ensemble de l'été 1979

Groupe	N	Région	Période
I	12	A <sup>N</sup> , A <sup>S</sup> , B, C	20 mai — 28 mai
	26		A <sup>N</sup>
II	67	B	13 juin — 30 juin
		A <sup>S</sup>	30 mai — 31 août
		A <sup>N</sup>	1 juil. — 31 août
III	14	B	1 juin — 30 juin
		C	1 août — 31 août
IV	6	C	15 juin — 14 juil.
V	34	C	1 juin — 14 juin
VI	20	C	15 juil. — 31 août
VII		B	1 juil. — 31 juil.

A<sup>N</sup> représente la rive nord de la rivière  
 A<sup>S</sup> représente la rive sud de la rivière  
 B représente l'embouchure de la rivière  
 C représente la baie

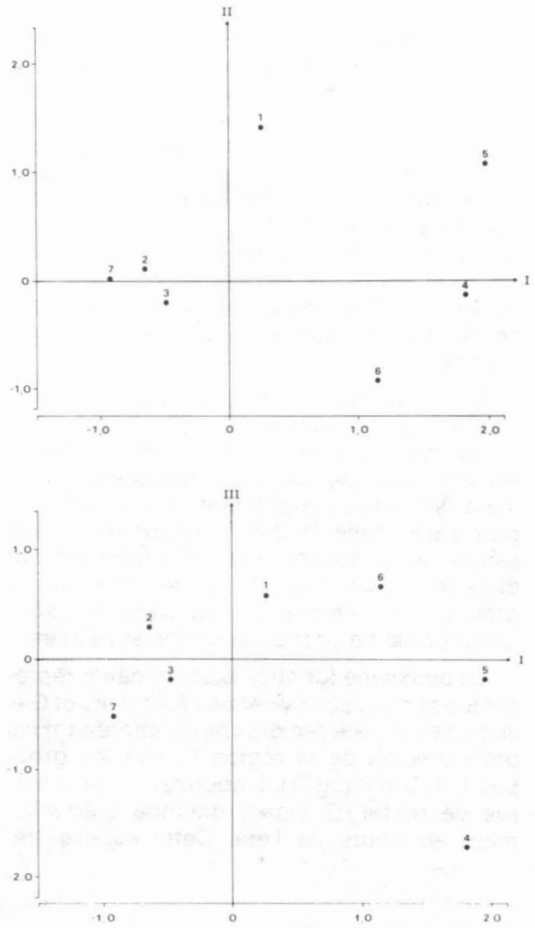


Figure 3. Position des centroïdes des 7 groupes de prélèvements biologiques dans le plan des deux premiers axes discriminants (a) et dans le plan du premier et du troisième axes discriminants (b).

fonctions discriminantes. Selon le premier axe de l'analyse en coordonnées principales (fig. 2), l'ensemble de la période estivale est caractérisé par deux grandes zones; l'une dont les salinités sont toujours près de 0‰ (régions A et B) et l'autre dont les salinités sont plus élevées (région C). Les trois premiers axes discriminants permettent d'abord de séparer le milieu d'eau douce du milieu salé, puis discriminent les groupes à l'intérieur de chaque milieu.

Le meunier rouge et le cisco sont les espèces diagnostiques de ces deux zones selon le premier axe discriminant pour l'ensemble de l'été (fig. 3); le cisco a des densités relatives moyennes plus élevées dans les groupes 4, 5 et 6 (milieu salé) alors que l'inverse se produit pour le meunier rouge

(tableau IV). Ces résultats concordent avec ceux de Morin *et al.* (1980) qui démontrent que les Catostomidae et les Salmonidae sont les groupes dominants dans la plupart des estuaires de la côte est de la baie d'Hudson et de la baie James. *M. quadricornis*, la seule espèce typiquement estuarienne dans cette région (Morin *et al.*, 1980) est présente presque exclusivement dans la région C (groupes 1, 4, 5, 6) et permet aussi de séparer les deux zones : la densité moyenne la plus élevée est retrouvée au début de juin (groupe 5); elle diminue à mesure que la saison avance.

Le chaboisseau (*M. scorpius*), espèce marine qui fréquente de façon sporadique les zones estuariennes (Morin *et al.*, 1980), est diagnostique des trois fonctions discriminantes avec cependant un coefficient plus élevé dans la dernière fonction. Cette espèce est présente presque exclusivement dans la région C au début de l'été, soit le groupe 1 et intervient ainsi dans la discrimination de ce groupe selon les trois axes.

La deuxième fonction discriminante représentée surtout par *Salvelinus fontinalis* et *Gadus ogac* sépare les groupes comprenant les prélèvements de la région C, soit les groupes 1, 4, 5 et 6 (fig. 3). L'abondance de la morue de roche (*G. ogac*) diminue graduellement au cours de l'été. Cette espèce fré-

quente occasionnellement les estuaires (Morin *et al.*, 1980) et évite la région, à mesure que les températures augmentent. L'omble de fontaine anadrome (*S. fontinalis*) se comporte à l'inverse de la morue de roche. Elle se rapproche de l'embouchure des rivières à mesure que la saison avance; ces régions se trouvent le long de la route de migration de cette espèce, qui remonte les rivières pour aller frayer pendant l'automne. Contrairement à la morue de roche, l'omble de fontaine anadrome réagit à une fonction biologique plutôt qu'à une variation des paramètres physiques du milieu. Mais que cette espèce puisse séparer différents groupes physiques nous incite à penser que cette fonction biologique — la migration — pourrait être reliée aux paramètres physiques du milieu.

La troisième fonction discriminante est représentée par le cisco, le doré jaune, le chaboisseau (*M. scorpius*) et le capelan (*Mallotus villosus*) et permet de séparer d'une part les groupes 2, 3 et 7 par le doré jaune et d'autre part les groupes 4, 5 et 6, par les trois autres espèces (fig. 3). Le doré jaune est abondant dans les groupes 2, 3 et 7 comprenant des prélèvements des régions A et B du milieu d'eau douce et sa densité relative moyenne est plus élevée dans le groupe 7. Les spécimens capturés

TABLEAU IV

Valeurs des trois premières fonctions discriminantes, pour les espèces de poissons capturées : les valeurs soulignées sont  $\geq 0.4$

Espèces	Fonction discriminante		
	I	II	III
<i>Coregonus artedii</i>	<u>0.40</u>	0.17	-0.57
<i>Coregonus clupeaformis</i>	0.01	-0.33	-0.21
<i>Stizostedion vitreum</i>	-0.12	0.00	<u>-0.50</u>
<i>Catostomus catostomus</i>	<u>-0.43</u>	0.09	0.28
<i>Myoxocephalus quadricornis</i>	<u>0.55</u>	-0.04	<u>0.41</u>
<i>Salvelinus fontinalis</i>	0.29	<u>-0.41</u>	<u>-0.36</u>
<i>Acipenser fulvescens</i>	-0.15	-0.02	-0.01
<i>Lota lota</i>	0.13	0.30	0.10
<i>Percopsis omiscomaycus</i>	0.00	0.30	0.19
<i>Catostomus commersoni</i>	-0.06	0.19	0.05
<i>Esox lucius</i>	-0.10	0.07	0.06
<i>Couesius plumbeus</i>	-0.14	0.09	-0.12
<i>Gadus ogac</i>	0.10	<u>0.83</u>	-0.10
<i>Myoxocephalus scorpius</i>	<u>-0.56</u>	<u>-0.51</u>	<u>0.96</u>
<i>Mallotus villosus</i>	0.34	0.27	<u>-0.95</u>
<i>Myoxocephalus scorpioides</i>	0.18	-0.32	<u>0.33</u>
<i>Cyclopterus lumpus</i>	0.24	0.33	-0.02

TABLEAU V

Prises par unité d'effort moyennes et valeurs extrêmes entre parenthèses, des principales espèces récoltées dans les sept groupes physiques et pourcentage des prélèvements biologiques correctement classés à la suite de l'analyse discriminante

Espèces	Groupes						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>C. artedii</i>	2,77 (0,0 - 13,90)	0,43 (0,0 - 6,26)	2,19 (0,0 - 59,23)	14,60 (1,26 - 30,6)	8,36 (0,0 - 21,60)	6,39 (0,0 - 8,95)	1,06 (0,0 - 4,32)
<i>C. clupeaformis</i>	0,24 (0,0 - 2,00)	0,33 (0,0 - 4,32)	0,94 (0,0 - 11,61)	2,52 (0,0 - 5,05)	0,36 (0,0 - 1,44)	0,74 (0,0 - 4,80)	0,48 (0,0 - 2,22)
<i>S. vitreum</i>	0,70 (0,0 - 4,15)	1,17 (0,0 - 10,08)	2,63 (0,0 - 29,87)	0,63 (0,0 - 5,05)	0	0	6,51 (0,0 - 25,36)
<i>C. catostomus</i>	1,36 (0,0 - 7,66)	2,50 (0,0 - 21,00)	2,45 (0,0 - 22,98)	0,32 (0,0 - 2,53)	0	0	3,87 (0,0 - 15,27)
<i>M. quadricornis</i>	1,08 (0,0 - 6,00)	0,03 (0,0 - 0,98)	0,08 (0,0 - 2,32)	1,23 (0,0 - 2,67)	1,83 (0,0 - 4,32)	1,08 (0,0 - 6,36)	0
<i>S. fontinalis</i>	0,03 (0,0 - 0,49)	0,06 (0,0 - 0,88)	0,09 (0,0 - 1,97)	0,32 (0,0 - 1,33)	0,23 (0,0 - 1,26)	0,58 (0,0 - 3,18)	0
<i>G. ogac</i>	0,77 (0,0 - 6,00)	0	0	0,23 (0,0 - 1,60)	0,52 (0,0 - 3,51)	0,03 (0,0 - 0,82)	0
<i>M. scorpius</i>	0,40 (0,0 - 6,00)	0	0	0	0	0,08 (0,0 - 1,85)	0
<i>M. villosus</i>	0,40 (0,0 - 6,00)	0	0	0,54 (0,0 - 3,80)	0,18 (0,0 - 1,64)	0,05 (0,0 - 1,21)	0
% corr. classés	26,7	54,3	50,9	50,0	44,4	56,0	41,2



sont en majorité immatures et il semble que pour les mois de juin et août, le doré jaune fréquente les régions plus en amont dans la rivière et qu'à des conditions physiques plus favorables (températures plus élevées) il se déplace vers l'embouchure. En effet, nous avons remarqué que pendant cette période, le doré jaune se nourrit surtout d'épinoches (*Gasterosteus aculeatus* et *Pungitius pungitius*), très abondants dans les stations de l'embouchure de la rivière. Le doré jaune va donc y chercher une source d'alimentation lorsque les conditions physiques lui sont favorables et n'y retourne presque plus lorsque ces conditions changent, même si la ressource demeure présente (données non publiées). Quant aux groupes 4, 5 et 6 (du milieu salé), leur séparation peut s'expliquer principalement par trois espèces. *M. scorpius* est rencontré exclusivement au début et à la fin de l'été (groupes 1 et 6) et préfère, comme la morue de roche, les eaux plus froides de la baie James pendant le reste de la saison. Le capelan est plus abondant à la fin de juin (groupe 4). Il se rapproche alors pour frayer et retourne par la suite plus au large; tous les individus capturés pendant cette période étaient sexuellement matures.

Le cisco, autre espèce sur le troisième axe discriminant, est abondant pendant tout l'été dans les groupes 4, 5 et 6, mais sa densité moyenne est maximale dans le groupe 4 (fin de juin). Celle-ci est expliquée par les mouvements migratoires du cisco; il se rapproche des estuaires pendant une partie de l'été, pour ensuite se déplacer en masse vers les embouchures des rivières pendant le mois d'août. Cependant, le groupe 3, comprenant les stations échantillonnées dans la région B en août, ne montre pas une telle augmentation d'abondance. Toutefois le groupe 3 comprend en plus des stations de l'embouchure de la rivière, des stations situées dans la région A; celles-ci pourraient masquer la densité réelle du cisco dans l'embouchure pendant cette période. La valeur minimale et la valeur maximale des densités observées pour le cisco dans le groupe 3 (tableau V) montrent un écart très grand; la valeur minimale (0) est observée au sein des stations de la région A et la valeur maximale (59,23) au sein des stations de la région B. Le cisco est bien représentatif des différences entre les groupes physiques pendant l'été à cause de ses exigences écologiques, mais il ne correspond plus à ces groupes lors de ses migrations, les va-

riations des prises par unité d'effort (PUE) étant très grandes à l'intérieur d'un même groupe.

Quoique représentant 11,1% des prises totales durant l'été le grand corégone anadrome n'est diagnostique pour aucune des fonctions discriminantes et ne caractérise aucun des groupes physiques déterminés. Nous ne retrouvons pas de densités relatives fortes au cours de la saison estivale comme c'est le cas pour le cisco dans quelques groupes et les densités relatives moyennes indiquent que le grand corégone n'est pas vraiment représentatif d'un ou de plusieurs groupes en particulier. Il n'entrerait que graduellement dans la rivière, mais sans toutefois s'arrêter à l'embouchure comme le fait le cisco. Pour ces raisons, il ne pourrait être représentatif d'un groupe physique précis puisqu'il serait retrouvé dans tous les groupes à la fois.

Le pourcentage des prélèvements biologiques correctement classés dans chacun des groupes d'origine est pour l'ensemble de 48,8%. Le succès de prédiction est plus élevé durant la période de l'été pendant laquelle la plupart des espèces ne sont pas en voie de reproduction et les déplacements majeurs des espèces migratrices ne sont pas commencés ou sont déjà terminés (groupes 2, 3 et 6) (tableau V). Ces espèces permettent donc, dans une certaine mesure, de séparer les groupes formés selon les variables physiques et démontrent le rôle qu'ont la température et la salinité dans la détermination de la structure de cette communauté.

Chacun des groupes physiques peut donc être caractérisé par un assemblage d'espèces qui est plus ou moins représentatif. Certaines espèces répondent aux conditions physiques du milieu de façon plus marquée que d'autres et peuvent être limitées dans leur distribution par les facteurs physiques (Copeland & Bechtel, 1974). Ainsi, la morue de roche est limitée par la température et la salinité tandis que le doré jaune recherche les eaux douces et chaudes. D'autres espèces ne répondent pas directement aux facteurs physiques, mais plutôt à des fonctions biologiques; les mouvements migratoires, la reproduction et la préférence d'habitat peuvent jouer un rôle majeur dans la structuration des communautés (Livingston *et al.*, 1976; McErlean *et al.*, 1973). Les patrons de distribution des espèces dans cette région nordique peuvent être masqués par la formation de groupes uniquement sur une base

physique, mais pourraient être expliqués par une combinaison des paramètres physiques et des fonctions biologiques. D'ailleurs, il est mentionné que l'abondance des espèces est dépendante d'un complexe d'interactions entre les variables physiques et les paramètres biologiques (Livingston *et al.*, 1976). L'analyse des paramètres biologiques associés aux espèces rencontrées dans ce milieu permettra de mieux les associer aux variables physiques et de définir de façon beaucoup plus précise la structure et le maintien de cette communauté.

### Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au support logistique et financier de la Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ), ainsi que des subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada à J.J. Dodson et du ministère de l'Éducation du Québec au Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ). Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui ont contribué à l'échantillonnage ainsi que M.L. Belzile pour la préparation des figures.

### Références

- COPELAND, B.J., & T.J. BECHTEL, 1974. Some environmental limits of six Gulf coast estuarine organisms. — *Contr. mar. Sci.*, 18: 169-204.
- GOWER, J.C., 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. — *Biometrics*, 27: 857-871.
- HAEDRICH, R.L., & S.O. HAEDRICH, 1974. A seasonal survey of the fishes in the Mystic River, a polluted estuary in downtown Boston, Massachusetts. — *Estuar. coast. mar. Sci.*, 2: 59-73.
- LEGENDRE, L., & P. LEGENDRE, 1979. *Écologie numérique. Tome II: La structure des données écologiques.* — Masson, Paris et les Presses de l'Université du Québec, 247 p.
- LEGENDRE, L. & Y. SIMARD, 1978. Dynamique estivale du phytoplancton dans l'estuaire de la baie de Rupert (baie James). — *Naturaliste can.*, 105: 243-258.
- LEGENDRE, L., & Y. SIMARD, 1979. Océanographie biologique estivale et phytoplancton dans le sud-est de la baie d'Hudson. — *Mar. Biol.*, 52: 11-22.
- LIVINGSTON, R.J., G.J. KOBYLINSKI, F.G. LEWIS III & P.F. SHERIDAN, 1976. Longterm fluctuations of epibenthic fish and invertebrate populations in Apalachicola Bay, Florida. — *Fishery Bull. Fish. Wildl. Serv. U.S.*, 74: 311-321.
- MCERLEAN, A.J., S.G. O'CONNOR, J.A. MIHURSKY, & C.I. GIBSON, 1973. Abundance, diversity and seasonal patterns of estuarine fish populations. — *Estuar. coast. mar. Sci.*, 1: 19-36.
- MOREAU, G., & L. LEGENDRE, 1979. Relation entre habitat et peuplements de poissons: essai de définition d'une méthode numérique pour des rivières nordiques. — *Hydrobiologia*, 67: 81-87.
- MORIN, R., J. DODSON, & G. POWER, 1980. Estuarine fish communities of the eastern James-Hudson Bay coast. — *Env. Biol. Fish.*, 5: 135-141.
- NIE, N.H., C.H. HULL, J.G. JENKINS, K. STEINBRENNER & D.H. BRENT, 1975. *SPSS: Statistical package for the social sciences.* — McGraw-Hill, New York, 675 p.
- OVIATT, C.A., & S.W. NIXON, 1973. The demersal fish of Narragansett Bay: an analysis of community structure, distribution and abundance. — *Estuar. coast. mar. Sci.*, 1: 361-378.
- ROHLF, F.J., J. KISHPAUGH & D. KIRK, 1974. *NTSYS: Numerical taxonomy system of multivariate statistical programs.* — State University of New York, Stony Brook, N.Y., 86 p.
- WILSON, C.V., 1971. The climate of Québec. Part 1. Climatic atlas of the province of Québec. — *Can. Met. Serv., Ottawa. Climatological Studies*, no. 11. 44 fig.



Impact écologique des aménagements  
hydro-électriques  
*Environmental impact of hydroelectric projects*



## PRESENT AND FUTURE CIRCULATION AND SALINITY IN JAMES BAY

S. J. PRINSENBURG

*Ocean Science and Surveys, P.O. Box 5050  
Burlington, Ontario L7R 4A6*

### Résumé

Il existe, en été et en hiver, un courant de surface cyclonique et une faible pénétration subsuperficielle dans la baie James. Tant les modèles que les observations montrent que la circulation de surface est liée partiellement à des différences de densité attribuables à l'écoulement, et partiellement à la tension du vent. En été, la première de ces composantes génère un débit d'entrée de 3,5 cm/s, et un débit de sortie de 15 cm/s concentré le long de la côte du Québec par la force de Coriolis. La seconde composante peut inverser le débit de sortie quand des vents persistants produisent une tension supérieure à 8 m/s. Puisque ces deux composantes sont de grandeur à peu près équivalentes, la direction et la vitesse du courant fluctuent en fonction des variations du vent que cause le passage des systèmes météorologiques.

En hiver, le débit de sortie baisse à 5 cm/s et le débit d'entrée à 1,3 cm/s, en raison de l'écoulement plus faible. Le modèle « estuarien » prédit que les aménagements hydro-électriques projetés feront doubler les débits d'entrée et de sortie. Tant ce modèle que celui « de la pycnocline saisonnière » prévoient une diminution de 1,5 ‰ de la salinité des eaux de surface qui quittent la Baie et une augmentation de 0,3 ‰ de celles qui y entrent. Ainsi, le gradient de salinité de surface se trouve plus fort en hiver, en réponse à l'intensification du courant cyclonique.

### Abstract

During the summer and winter, there exists an anticlockwise surface circulation and a weak subsurface inflow in James Bay. Model results and observations showed that surface circulation is caused partly by density differences due to runoff, and partly (in summer) by wind stress. The summer density-driven contribution has an inflow magnitude of 3.5 cm/s and an outflow magnitude of 15 cm/s which is concentrated along the Québec shore by the Coriolis effect. The wind stress contribution of circulation can reverse the surface outflow when a persistent southerly wind stress greater than 8 m/s occurs. Since the wind and density circulation contributions are of about equal magnitude, the total circulation will vary in strength and direction in response to the variable wind stress due to passing weather systems.

In the winter, the magnitude of the surface outflow reduces to 5 cm/s and the inflow to 1.3 cm/s as a result of reduced runoff. After hydroelectric developments, the estuarine model predicts that the increase in winter runoff will cause the in- and outflow currents to double. Both the estuarine and seasonal pycnocline model predict a decrease in the winter salinity value of 1.5 ‰ in the outflow surface layer at the entrance of James Bay and an increase of 0.3 ‰ for the incoming water. Thus, the surface winter salinity gradients across the bay will increase as a result of the increased magnitude of the anticlockwise circulation.

### Introduction

The history of intensive oceanographic studies of James Bay is short. Indeed, initial investigations of the distributions of properties (Barber, 1967) and heat fluxes (Danielson, 1969) considered the bay only as part of the larger Hudson Bay system. It was not until

the 1970's that interest focussed on James Bay itself, with the advent of major hydroelectric developments in the surrounding watersheds, and associated implications for modification of a natural marine system. Then there was need to document the pre-development, baseline conditions within James Bay, and to estimate the effect on the

bay by proposed changes in the hydrologic regimes. The first descriptions of the distributions of properties (Barber, 1972), of tides (Godin, 1972), and of the circulation in the bay (Murty, 1972) were based on theory and speculation, because only sparse summer data existed. Additional salinity and temperature data were collected in the summer of 1972 and 1973, and were used by El-Sabh & Koutitonsky (1977) to estimate the transport between James Bay and Hudson Bay. All studies pointed out the lack of oceanographic data in general, and for the winter period in particular, when most of the influence of hydroelectric development would be expected.

Winter salinity and temperature data were obtained in 1975 and 1976 (Peck, 1978), while further, more intense surveys were carried out in the inshore area of La Grande River during 1979 and 1980 (Freeman *et al.*, 1982).

The winter data are used to describe the offshore circulation, while the current meter data from 1975 (Prinsenber & Deys, 1979) are used to analyse the summer circulation. Simple estuarine and surface mixed-layer models are used to study the pre- and post-hydroelectric circulation and salinity distribution of the bay (Prinsenber, 1977).

### Summer conditions

The anticlockwise surface circulation in Hudson Bay varies considerably, due to

mean summer wind patterns, and daily wind changes (Prinsenber, 1982). The surface salinity distribution suggested a mean monthly advection of about 4.0 cm/s moving surface water towards James Bay on the west side and from it on the east side of the entrance. Current meter data collected at the entrance of James Bay showed that during the same summer (1975) there existed a subsurface inflow (Fig. 1) below both the in- and outflows of the surface anticlockwise circulation.

The surface outflow measured in 1975 occurred over an area larger than that suggested by geostrophic calculations using the 1972 and 1973 salinity and temperature data (El-Sabh & Koutitonsky, 1977). The transport volumes of  $1.9 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/s exceeded the values of  $0.65 \times 10^5$  and  $1.7 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/s, respectively, calculated for August and October. The current meter transport is at least 10 times as large as the mean summer runoff of  $1.5 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/s and occurs in the eastern half of the bay above the 30‰ salinity contour. During the summer of 1975, wind stress had a northerly component which is opposite to the general southerly stress found for the area (Canadian Government, 1968). Thus the current meter data have a wind component that reinforces surface outflow and opposes surface inflow, and the magnitude of the inflow increases below the surface, reaching a maximum value at some intermediate depth, below which it decreases due to bottom friction. The outflow measured at 90 metres (Fig. 1) is probably

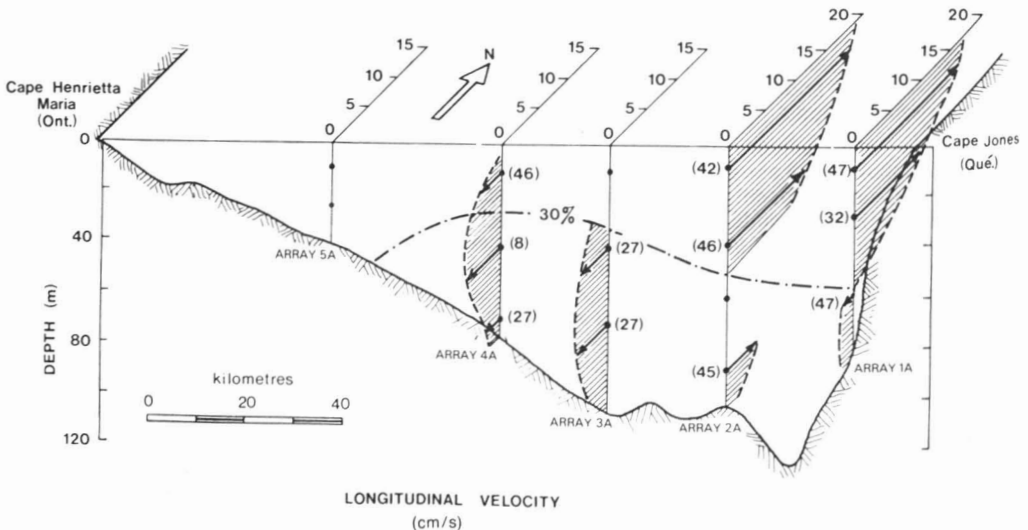


Figure 1. Mean longitudinal velocity distribution during summer of 1975 at the entrance to James Bay. Numbers in brackets designate the length in days of the usable current meter record.

a return of southward flow which entered James Bay and was reflected by the shallow topography south of the transect (most of James Bay is less than 50 metres in depth).

A meteorological buoy moored alongside the easternmost current meter array 1A collected wind speed and direction data. Figure 2 shows surface currents at 10 m depths at array 1A and at the westernmost array 4A, together with wind data, as time series stick plots and as progressive vector diagrams. For simplicity, both wind and current direction vectors indicate direction "to" and the position of a current meter at a depth YY from array X is denoted by XA0YY. Coupling between the wind and surface currents can be seen in time series records after daily averaging has removed short term variations. The wind data has a 4- to 6-day cyclic variation, with a long term mean wind stress direction towards the northwest. Wind stress is variable during the first two weeks and has a northerly mean component. During this time the current at 1A010 was also variable, with a mean northeasterly component. On the other side of the bay, the current generally changed from a westerly to a southwesterly direction, indicating that wind was more consistent or absent during this period.

Between August 17 and 21 the wind was strong and consistent towards the northwest and the current at 1A010 increased in magnitude towards the northeast. Current direction changed slightly as the wind-induced component of the current was only slightly more northerly than the mean current. The surface current at 4A010 reversed direction, producing an outflow at this station. The weather system causing this northwesterly wind stress thus acted over the entire width of the bay. Other weather systems have signatures in both current meter records, but may have apparent wind stress magnitudes and directions that are different on each side of the bay. Between August 21 and September 1, wind stress was successively southwesterly, northwesterly and again southwesterly. At array 1A a southwesterly stress is a land breeze which has a short fetch. During the southerly stress period the current at 1A010 decreases as the wind-driven part of the current opposes the mean current. The westerly and northwesterly stress increases the mean current again as the wind-driven transport is to the right of the wind stress. The surface current at 4A had the same cyclic variations as at 1A, but was not as well correlated to the actual

wind direction, probably because it was observed some 75 kilometres away.

There exists also a strong correlation between wind stress and currents at greater depths. The daily-averaged currents at fifty metres below current meter at 1A are shown as 1A060 in Figure 2. The cyclic variations are coherent with those occurring at 1A (10 metres depths), but currents at the two levels are generally in opposite directions. This is to be expected as the two current meters are located above and below the pycnocline. A simple two-layer estuarine model predicts that transport in the two layers should be approximately equal, but in opposite directions and the ratio of the surface-to-bottom layer current speed should approximately equal the ratio of the bottom-to-surface layer thicknesses. Here the surface layer depth was 30 metres, with a total depth of 100 metres, predicting a surface-to-bottom current ratio of 2.3. In the latter part of the records the ratio of major peaks ranged between 1 and 3 (when a mean of 20 cm/s for 1A010 was subtracted). These results are consistent with the two-layer estuarine model, and the strong correlation between wind stress and bottom layer current.

The steady-state, wind-driven circulation theory of Ekman predicts an angle between the wind stress and the water current of 45 degrees to the right of the wind at the surface, which increases with depth. Surface layer transport would be at 90 degrees to the right of the wind stress. This theory is supported by the observations in James Bay. During strong winds the surface current at 10 metres is generally to the right of the wind (Fig. 2). Histograms of the angle difference between the current (1A010) and the wind show the effect even more clearly, especially when different conditions of mean current lag time between wind and current are used (Fig. 3). All histograms show that the current at 10 metres is mainly to the right of the wind stress with an angle value of 40 to 100 degrees. The peak becomes most distinct when a mean surface current of 15 cm/s at 020 degrees, a lag time of 36 hours between wind and current is assumed, and only wind speeds over 3 m/s are used in the correlation. The sharpest peak occurs for the data from August 16 onwards. This cuts out the variable and weak wind period, leaving that part of the record where the wind persists longest from a specific direction. Other combina-



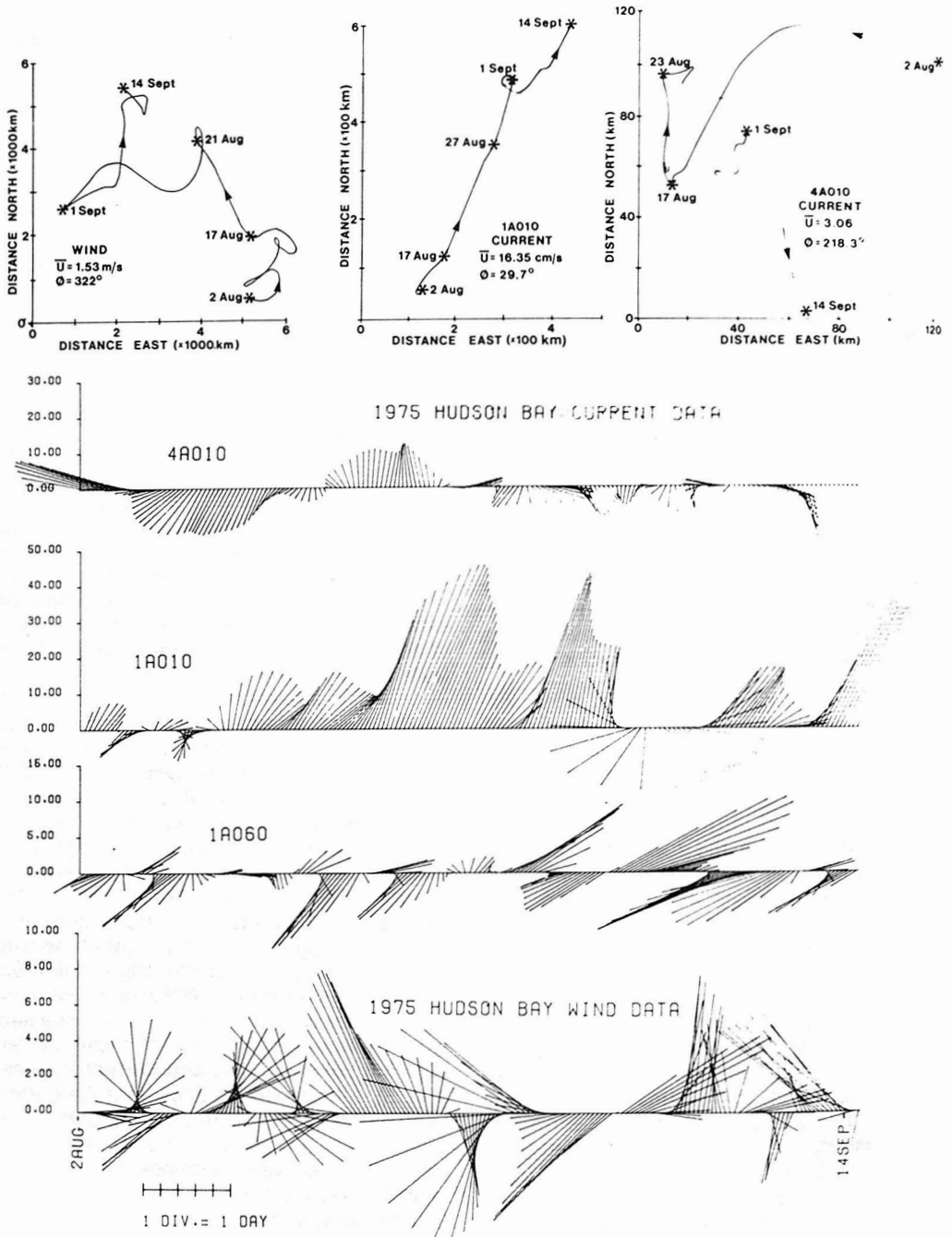


Figure 2. Progressive-vector diagrams and stick plots of daily mean wind and current meter data from the entrance of James Bay. Wind data were collected alongside array 1A on the Québec side of the bay while array 4A is in the middle of the bay.

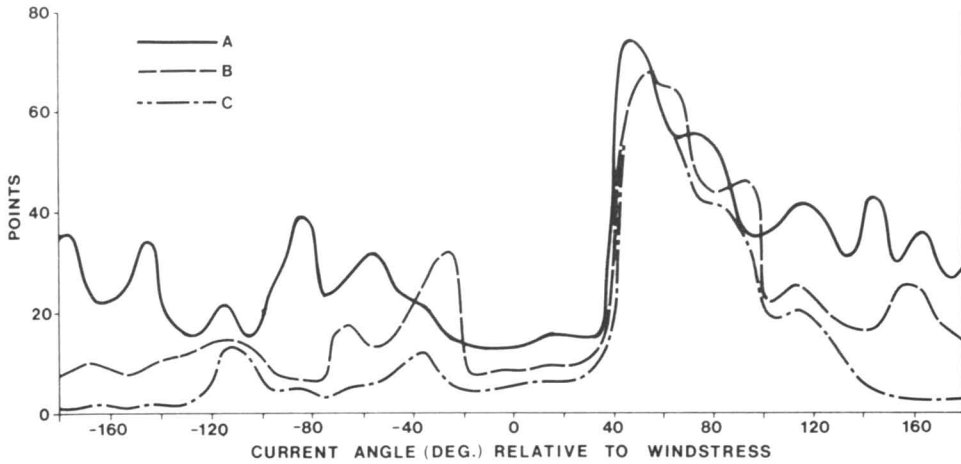


Figure 3. Histogram of number of sample versus the angle difference between surface current (10m depth) and surface wind stress. Curve A represents all winds, zero lag time and zero mean current; curve B, winds > 3 m/s, 36 hours delay of current and mean current 15 cm/s at 20; curve C, same as B but data of August 17 onwards.

tions were tried but would not increase the sharpness of the last curve.

In summary, the summer circulation at the mouth of James Bay is characterized by a relatively slow mean inflow of 5 cm/s in the bottom layer, and in the western half of the surface layer. The outflow (20 cm/s) is concentrated in the eastern half of the surface layer. Passing weather systems can superimpose cyclic variations in circulation at 4- to 6-day periods and can cause local surface currents in the direction of the wind and an opposing bottom current. The magnitude of the variations depends on the wind strength and directional persistence. As a rough rule, daily mean winds of 8 m/s (29 km/h) cause surface currents of 25 cm/s and bottom currents of 10 cm/s.

**Winter conditions**

The surface salinity distribution observed in the winter of 1976 shows the large influence of the freshwater runoff (Fig. 4, from Peck, 1978). Ice cover prevents wind mixing of the surface layer, and tidal mixing caused by friction underneath the ice is greatly reduced when the active freezing period is over and the rate of addition of freshwater by runoff is larger than that of subtraction by freezing. This condition is achieved earlier inshore than offshore.

The volumes of runoff water brought into the bay between December 1 and March 31 were calculated for the three rivers whose

runoffs will be affected by hydroelectric developments (Table I). These are La Grande River, Eastmain River and the rivers entering Rupert Bay; Nottaway, Broadback and Rupert rivers. Observed runoff data were obtained from Water Survey of Canada monthly summaries, while future post-project values are from Prinsenber (1980). December 1 approximates the date ice cover becomes permanent, while March 31 marks the end of the oceanographic winter survey of 1976. The 1976 volume values can be compared to the long term mean and the post-projects values listed in Table I; the 1976 La Grande volume (up to March 1) serves as a standard because runoff until March 1 produces the plume size shown in Figure 4. If an increase in runoff equally affects all dimensions of a plume, then the future La Grande River plume would be

TABLE I

Runoff volume ( $\times 10^9$  m<sup>3</sup>) from December 1 to March 31

	La Grande River	Eastmain River	Rupert Bay**
1976	5.87*	4.17	11.60
Mean	8.34	4.80	13.80
Future	35.67	0.99	24.43
Future/(1976 La Grande River)	6.08	0.17	4.15

\* Runoff summed to March 1.

\*\* Rivers entering Rupert Bay: Nottaway, Broadback and Rupert rivers.

approximately 1.8 times as large as that in Figure 4, while the future Rupert Bay plume would be 1.6 times as large. However, these numbers are crude estimates. It is not known how runoff increase will affect stratification, advection and diffusion and their mutual interdependence.

According to Figure 4, the dimensions of the Rupert Bay's plume should be 1.3 times as large as the La Grande plume. However, the large, shallow estuary reacts as a tidal mixing bowl that blends the freshwater plume into the offshore water mass, making it less distinguishable than the floating plumes outside other rivers of James Bay.

Winter current meter data is available from 1980 (Freeman *et al.*, 1982). The farthest offshore station was located 40 km northwest of Fort George (Fig. 4); there the mean current was 3.7 cm/s towards the northwest ( $146^\circ$ ) at depths of 2, 3 and 5 metres. The current along the Québec shore is northward, similar to the summer circulation, but at a reduced rate. The winter circulation in James Bay consists of the same anticlockwise gyre as the summer, with relatively saline water coming in from Hudson Bay along the west shore. This water is diluted by the addition of runoff water as it circulates in an anticlockwise direction around the bay. It then joins the northward flowing current along the east shore, which originates from the southeastern part of the bay where most of the runoff originates.

The current amplitudes along the eastern shore above the La Grande River were five times larger in summer than in winter and corresponding pre-development runoffs (Prinsenber, 1980) were four times larger. This shows the importance of runoff in circulation, and underscores the need to estimate the impact of future runoffs.

### Estuary circulation model and classification

Various aspects of the circulation of James Bay were investigated by Prinsenber (1978) through consideration of the conservation of salt, an estuary classification system and an estuarine circulation model. Similarity solutions used for estuarine circulation and classification were developed by Hansen & Rattray (1965, 1966) and Hansen (1967). They depend upon stratification and circulation parameters which are determined from boundary conditions. A third parameter can

be used when the wind stress becomes important.

The stratification parameter is the ratio of top-to-bottom salinity difference to mean salinity value of the vertical cross-section. The circulation parameter is the ratio of net surface current ( $U_s$ ) to mean freshwater current through the vertical cross-section ( $U_f$ ); the latter is obtained by dividing the total rate of freshwater discharge passing through the cross-section ( $Ro$ ) with the cross-sectional area  $A$ . The stratification and circulation parameters are used in the estuarine classification to obtain relative diffusive fraction of the total upstream salt flux under zero wind stress conditions. The model is two-dimensional and cannot account for lateral variations caused by Coriolis force. Accordingly, James Bay data were averaged over the eastern half of the bay.

The theoretical similarity solutions of salinity and velocity distributions are comprised of three independent parts: a freshwater (volume) contribution, a wind-driven contribution, and a gravitational (density) contribution. Their relative magnitudes, as well as the fractional composition of the upstream salt flux, can be readily extracted. However, the solutions require a large number of input variables. Some can be obtained from the sectional mean salinity gradient, while others are dependent upon tidal and wind-induced currents and stability of the density structure. If no surface current data is available, it can be derived indirectly from density data by means of the densimetric Froude number. In estuaries, the densimetric Froude number ( $F_m$ ) expresses the ratio of the forced river flow ( $U_f$ ) to the density-induced internal flow ( $U_d$ ).  $U_f$  is the freshwater discharge per unit cross-sectional area and  $U_d = \sqrt{gH \Delta\rho/\rho}$  derived from the density difference ( $\Delta\rho/\rho$ ) between river and sea water, the mean depth ( $H$ ) and the gravity constant ( $g$ ). Hansen & Rattray (1965) showed that  $F_m$  is empirically related to the estuarine Rayleigh number ( $R_a$ ) and to the diffusive fraction of upstream salt flux  $\nu$  by:

$$\nu R_a = 16 F_m^{-3/4} \quad (1)$$

The accuracy of the relationship increases at larger values of  $\nu R_a$  ( $> 100$ ) such as found in James Bay (1500-6000). The Rayleigh number in turn is related to the circulation parameter  $U_s/U_f$  by:

$$U_s/U_f = 3/2 + \nu R_a/48 \quad (2)$$

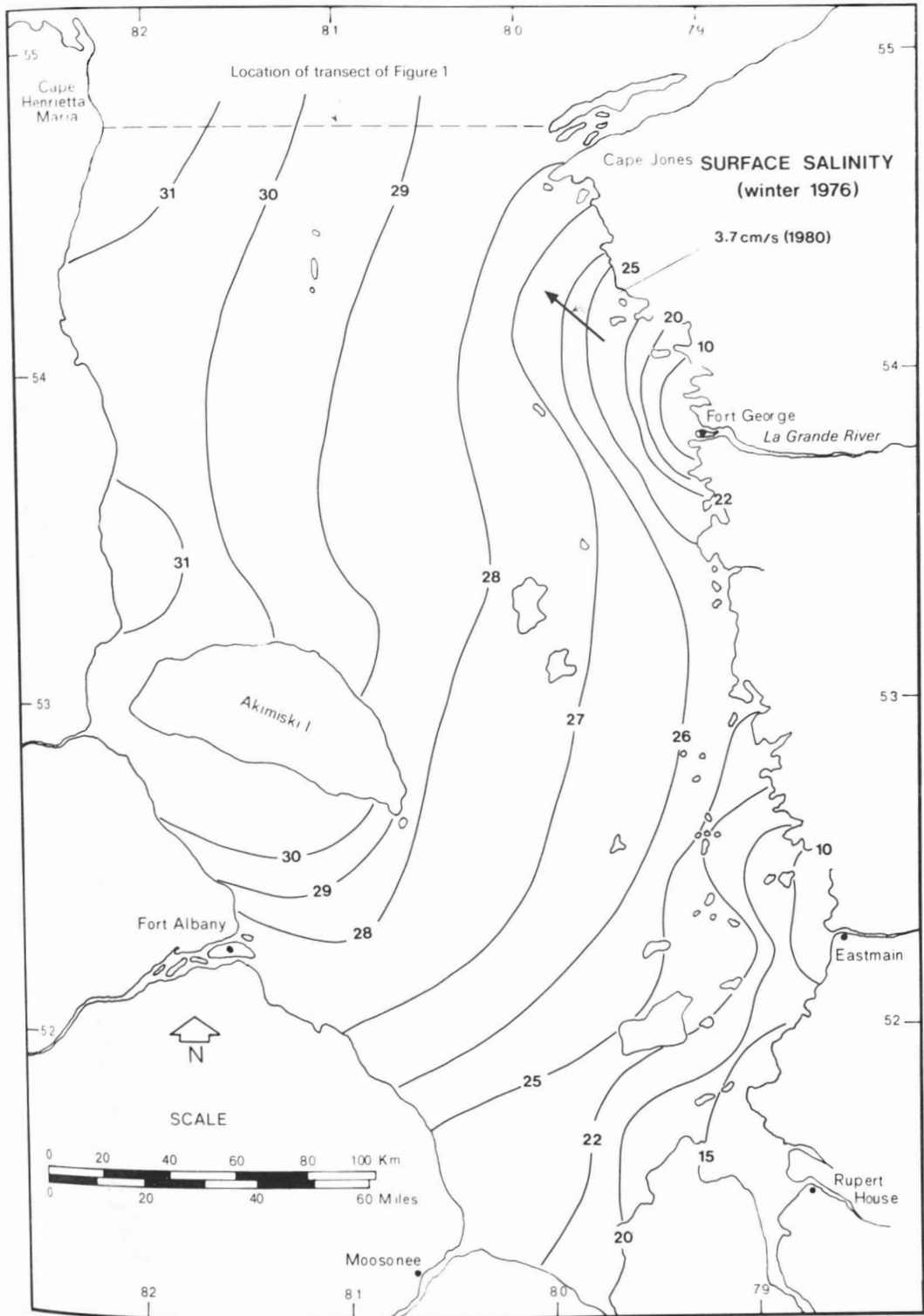


Figure 4. Surface salinity contours as observed in winter 1976 (Peck, 1978) with surface current meter data of winter 1980.

With the use of equations 1 and 2, the surface current ( $U_s$ ) can be derived from runoff and density (salinity) data. A surface current of 11.4 cm/s was calculated from the salinity data observed at the entrances of James Bay during the summer. This compares to observed values at the three arrays of 16.3, 18.4 and -2.2 cm/s, which gives a sectional mean value of 10.8 cm/s at a depth of 10 metres. The equation 2 thus provides a good indirect method for obtaining the surface current from density (salinity) data.

The entrance of James Bay falls in the stratified fjord class for both summer and winter periods. It changes toward a partially-mixed 'fjord' at the latitude of the La Grande River. At the entrance of the bay,  $\nu$  is very small, which means that all the upstream salt flux is accomplished by advection. In the winter the value increases, indicating that the upstream salt flux is accomplished by both advection and diffusion. The area remains classified as a 'fjord', but under less stratified conditions.

The upstream diffusion of salt within James Bay buffers the estuary against salinity changes induced by variations in freshwater input. When freshwater input is increased, the horizontal gradients and thus the upstream salt diffusion increases, offsetting the dilution caused by the larger freshwater input.

Analytical estuarine model results were obtained for the ice-free summer season and the ice-covered winter season. The top-to-bottom difference in salinity is inversely proportional to the coefficient value of vertical diffusion. The best representation of the salinity data was achieved by  $K_z$  value of 1.48 cm<sup>2</sup>/s and 2.85 cm<sup>2</sup>/s for winter and summer conditions respectively. Results show salinity and velocity profiles at the entrance (transect 1) and at the cross-section just below La Grande River (transect 3). For summer, three different wind stresses are used, while for winter, present and future runoff rates are used. During winter the effect of ice friction is treated as a negative wind stress, but a small surface current persists since the ice is not completely landlocked.

The velocity consists of three components: the freshwater contribution, required for disposal of the input of freshwater; the gravitational contribution, due to the density differences; and the wind-driven contribution. Velocity profiles are normalized by the surface velocity of the freshwater contribu-

tion whose depth-dependence produces a seaward flow at all depths. For a zero wind stress the gravitational contribution can cause a reversal with depth, producing an inward bottom flow. The amplitudes of surface-layer outflow and bottom-layer inflow are related to each other by continuity of volume transport and conservation of salt. The amplitude and direction of the wind-driven contribution are dependent upon wind stress. For a positive (northerly) wind stress, the wind-driven contribution will cause a surface outflow and a bottom return flow, conserving volume transport at each transect. For a southerly wind stress the surface wind drift can reverse the direction of the total surface outflow, leading to a three-layer structure having an inflow on the surface and bottom and an outflow at intermediate depths.

The summer velocity and salinity results are shown in Figure 5 for three wind stress conditions identified by the dimensionless windstress symbol  $T$ . These are: a zero wind stress, a small northerly stress with a wind magnitude of 2.5 m/s ( $T/4 = 28$ ) and a large southerly stress with a wind of 8 m/s ( $T/4 = -120$ ). The current meter data is the same as that shown in Figure 1. The averaging was done for depths where more than one record was available, while the single values at 30 and 60 metres depths are from array 1A. The observed wind data showed that the current measurements used in this comparison were obtained when the wind had a mean value between 1 and 3 m/s towards the northwest. The analytical results of Figure 5 also agree best with the data when a small northerly wind stress component is used. The only difference between the predicted and observed profiles of salinity is that the model cannot predict the sharp halocline because it can only use a constant vertical eddy coefficient, and not one that is dependent on the vertical variation in density and horizontal velocity. The mean drift velocity due to freshwater volume addition ( $U_d$ ) has a magnitude between 1.0 and  $1.5 \times 10^{-1}$  cm/s, two orders of magnitude less than the total current amplitudes. Thus the effect of the volumetric addition of freshwater directly is not the main cause for the circulation. Its effect on the density structure which causes a horizontal pressure gradient is the main contributor to the circulation in the form of the gravitational mode.

The model velocity profiles of transects 1 and 3 show that a small northerly wind

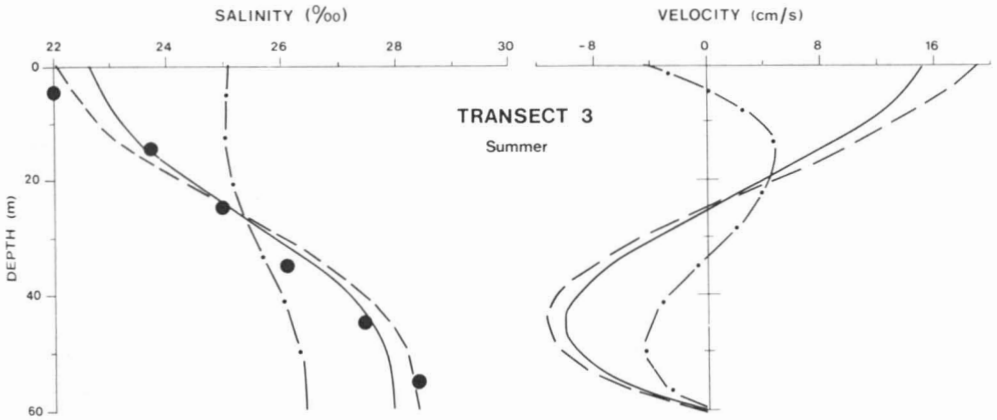
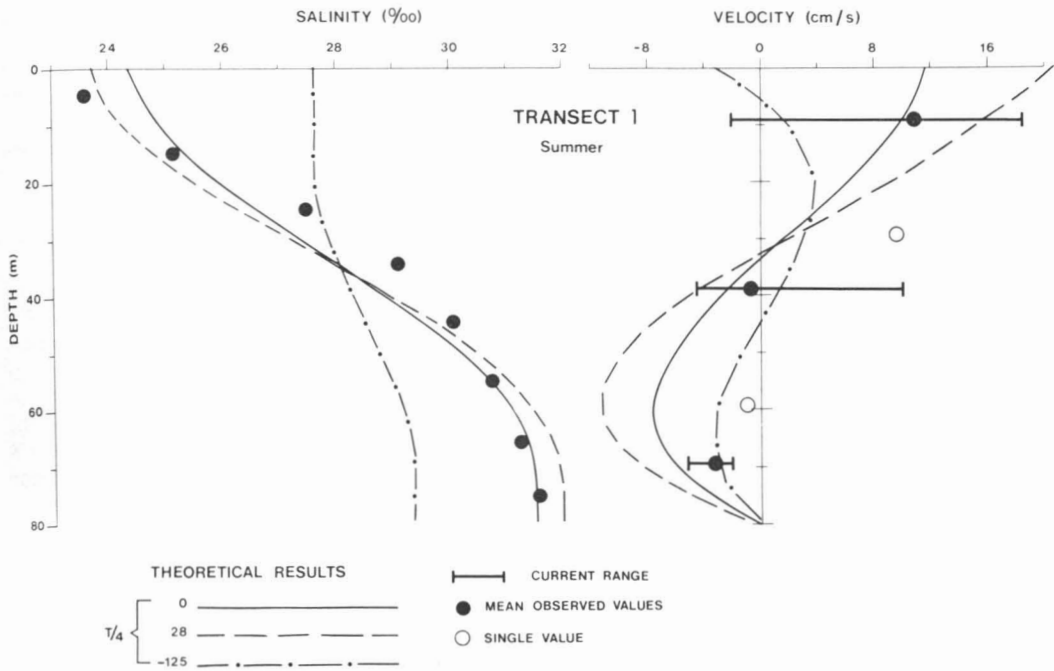


Figure 5. Analytical and observational results for three wind stress conditions (positive velocity value indicates a northward flow out of the bay).

stress increases the velocity of the surface outflow and, due to conservation of volume, will also increase the velocity of the bottom inflow. For a large southerly wind stress the surface outflow current is reversed, bringing surface water into the bay. The corresponding maximum velocity value of the bottom inflow layer is reduced and the outflow is now located at intermediate depths in order to conserve the total volume and salinity transports through the sections. Under these conditions, the vertical salinity

profile at each transect becomes nearly homogeneous; the mean horizontal salinity gradient remains the same. The observed velocities plotted in Figure 5 are mean values of three available values at a particular depth. Their individual values were shown in Figure 1. The range of the observed values as well as some single depth values are also shown. The current values at 10 m and 70 m show in- and outflow characteristics. The outflow corresponds better to a small northerly wind stress case, while the bottom inflow is smaller

than any of the theoretical values. This is caused by the inflow on the right side of the bay, which makes the observed values on the left side smaller than predicted since they were derived from the volume and salinity transport conservations, which used only half of the actual inflow area. For the shallower depth at section 3, the surface current reaches a speed of 19 cm/s with a maximum inflow magnitude of 11 cm/s. No current meter data is available for this location for comparison, although the observed and predicted salinity profile agree well.

In Figure 6 the results for the winter condition are shown using 1976 salinity data. The only current meter data (1980) was observed halfway between transect 1 and 3 and in the inshore part of the cross-section (Fig. 1). The summer data showed that the current is concentrated inshore, with offshore lower values and in the reverse direction. The corresponding cross-sectional current was about half the inshore value. When this distribution plus the north-south current gradient are assumed to exist in the winter as well, the cross-sectional mean current magnitude at transect 1 is 1.6 cm/s and 2.1 cm/s at transect 3.

Salinity profiles of the analytical model correlate well with observed mean profile values. The pycnocline is not as sharply defined as during the summer, which can be predicted more easily by a constant vertical eddy coefficient as used by the model. The predicted winter surface current values are much smaller than summer values when higher runoff and wind stresses are used. In- and outflow currents at the entrance of James Bay have cross-sectional mean value of 2.6 cm/s, which suggests a boundary current of up to 5.0 cm/s, as was observed. The surface current is stronger at transect 3, as both the surface layer and bottom depths are smaller, while the corresponding transports remained the same.

Figure 6 also shows theoretical winter results for future runoff conditions. Upstream (transect 3) salinity condition and vertical coefficient of diffusion were kept the same as it is not known how the opposite effects of the increased shear and increased stratification will modify it. The mean horizontal salinity gradient was changed linearly with runoff as compared to the present summer and winter conditions. The results show that at the entrance of the bay the current magnitude will increase for both in- and

outflow currents. This will cause the surface salinity to decrease and that of the bottom layer to increase. The predicted changes in surface cross-sectional conditions include a decrease of 1.5‰ in salinity and an increase of 3.4 cm/s in current. Larger changes can be expected in the inshore.

### Seasonal surface mixed-layer model

A second way to examine possible changes in the aquatic environment of James Bay utilizes a surface mixed-layer model which predicts the seasonal variation of the pycnocline depth as a result of changes in surface mass, heat and momentum fluxes. The model was described in detail by Niiler & Krauss (1977) and applied to the Hudson Bay region by Prinsenberg (1982). It uses an energy balance between the work needed to lift and mix the denser bottom water into the surface layer, the rate of work done by the wind, potential energy changed due to heat and mass fluxes through the surface, and dissipation of energy in the surface layer due to friction. During the winter months, wind mixing is replaced by tidal current mixing under an ice cover (Prinsenberg, 1982).

For James Bay the heat fluxes were derived from the specific heat and heat of fusion of the ice cover and the radiation fluxes of Danielson (1969). The mass flux includes the effects of precipitation, evaporation runoff (Prinsenberg, 1980) and freshwater fluxes from ablation and accretion of seasonal ice cover. In order to come back to the same depth-integrated salinity and temperature values, the seasonal sum of heat and mass fluxes should be zero. This is true for heat fluxes but not for mass fluxes. For this reason, salinity values were adjusted after each time step so that the depth-integrated value followed a specific seasonal curve. At the entrance of James Bay, this curve has a seasonal oscillation of 1.0‰, with a maximum value at Julian day 120 and a minimum value at Julian day 300 (Prinsenberg, 1978). This enables the depth-integrated temperature and salinity to return to their starting values after a one-year cycle and the surface fluxes and variations in pycnocline depth to just redistribute the heat and salt with depth.

Figure 7 shows the results of the seasonal pycnocline model using heat and mass fluxes that are found at the eastern side of the entrance of James Bay. Seasonal variation in

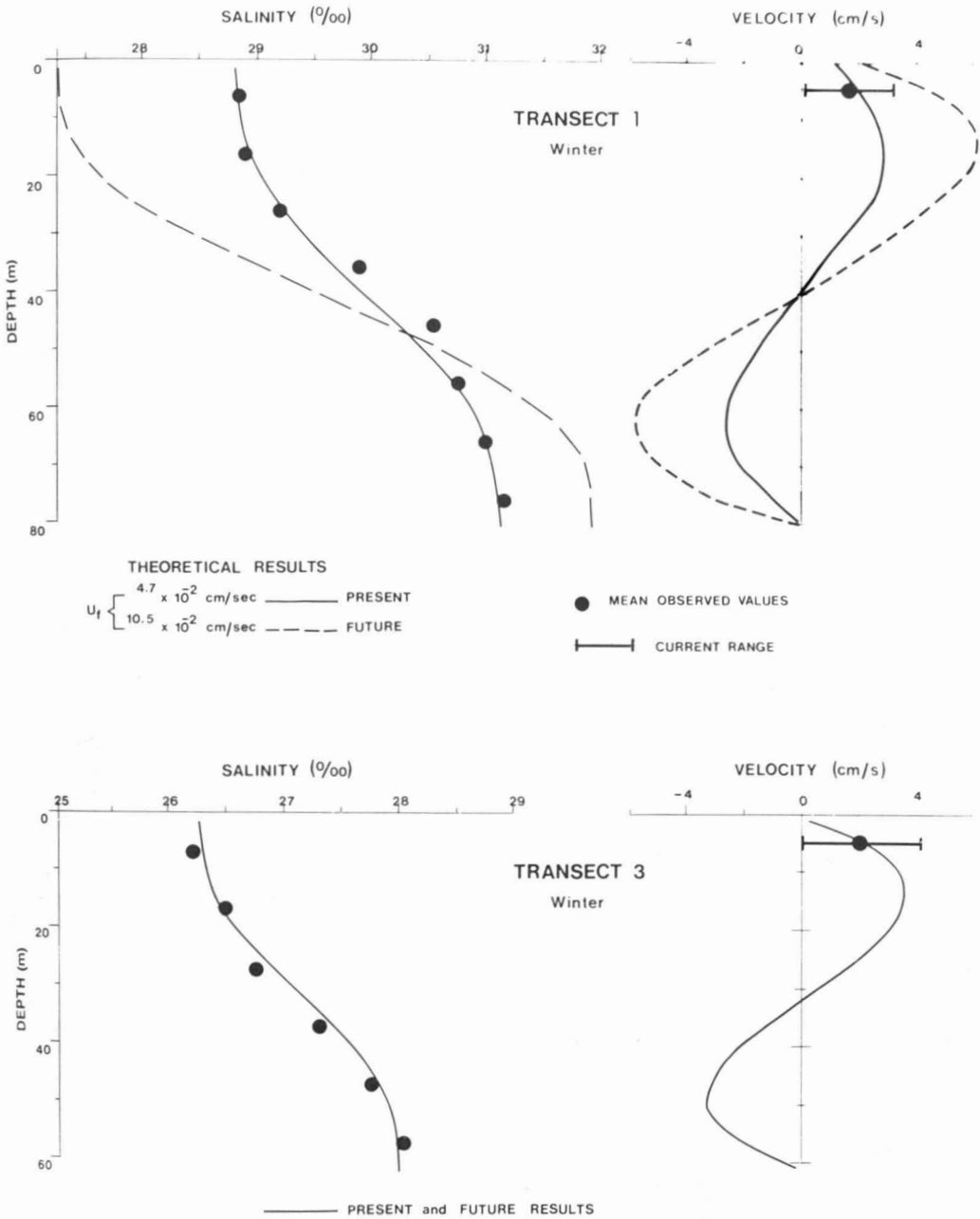


Figure 6. Analytical and observational results for the present and future winter conditions.

pycnocline depth, surface salinity and temperature, are shown for pre- and post-hydroelectric development conditions. During spring and early summer, the large addition of freshwater by runoff and ice melt and the large heat radiation input cause the surface layer to be very shallow and stable. In the latter part of the summer heat and

mass fluxes decrease, while wind strength increases. Starting at Julian day 210, the pycnocline increases, bringing up colder and saltier water from the deeper layers into the surface layer. Surface salinity increases and surface temperature decreases, although freshwater and heat are still supplied to the surface layer. Cooling starts at Julian



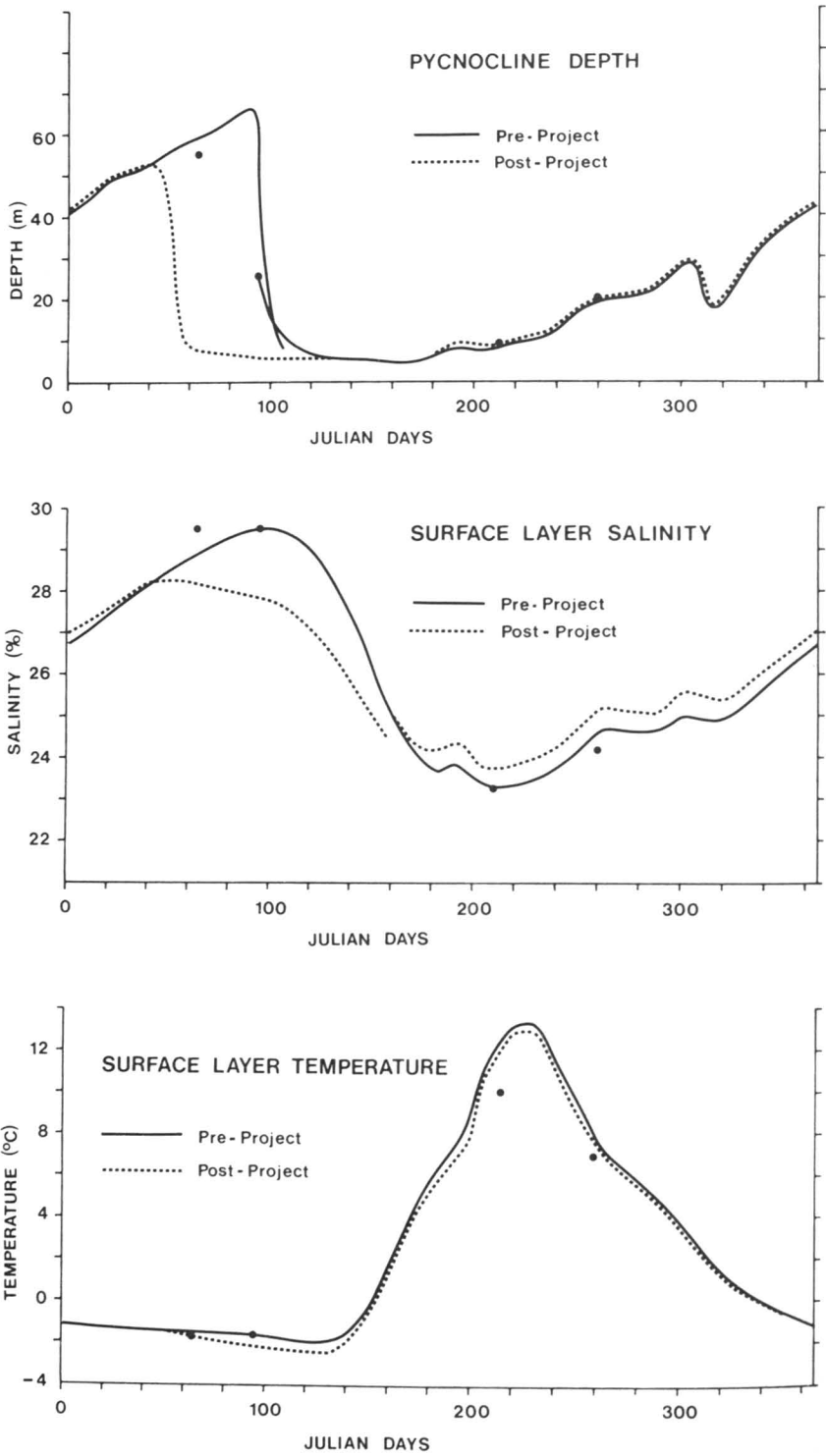


Figure 7. Theoretical and observational results of the seasonal variations in the pycnocline depth, surface layer salinity and temperature values for a location at the eastern part of the entrance to James Bay.

day 250 (September 5) and subtraction of freshwater (due to freezing) starts at Julian day 340 (December 5). Oscillations in pycnocline depth during summer and fall are caused by variations in wind stress (taken as that observed in 1975 at Churchill). Throughout the freezing period salt is rejected from the ice. This aids tidal current mixing to deepen the pycnocline. The length of the period of net salt rejection will be reduced when winter runoff is increased due to hydroelectric developments. Prior to development, this period terminated at about Julian day 80 (March 20), but after development it will end around Julian day 40 (February 10). Deepening of the pycnocline depth will stop at these approximate days and a layer of relative freshwater will start to form underneath the ice cover. This will continue when the ice starts to melt, and when the large runoff peak occurs in the spring.

Observations shown on Figure 7 are from the 1975 winter survey (Peck, 1978), which are used as starting conditions, followed by two 1975 summer observations (Prinsenberg, 1977) and followed by the 1976 winter data in early March (Peck, 1978) to complete the cycle. Curves for the pre-project condition reproduce the observations and suggest that the post-project curve will indicate changes accurately (Fig. 7). For the post-project condition the same depth-averaged salinity curve was used, but the cyclic variation from the mean was reduced from 1‰ to 0.75‰ in proportion to the decrease between maximum and minimum in mass fluxes. The post-project curve was started from early summer stratification conditions as produced by the pre-project run. This was done because the smallest changes are expected for this period.

The results show that in the summer and fall the pycnocline will be deeper as the runoff is reduced. This produces colder and saltier surface water. As the runoff increases again, the relative deepening of the pycnocline will be smaller, so that the pre- and post-project parameters are similar during the early part of the winter. Later, the increased runoff will cause the shallow layer to form 40 days earlier than before. The stratification, however, is very weak, as little net freshwater is actually added until the ice starts to melt and the runoff peak (Julian day 130) occurs. The late winter will thus experience a lower surface salinity as the tidal mixing is not strong enough to attain the

large pycnocline depth as before. The model predicts that the surface salinity value will be 1.5 to 2.0‰ lower than before; a similar decrease was predicted by the estuarine model (Fig. 8).

### Conclusion

The summer and winter circulation in James Bay consists of a surface outflow along the eastern shore, a surface inflow along the western shore, and an inflow at greater depths. The general anticlockwise circulation is partly caused by the density difference due to runoff and partly by wind stress (summer only). The density-driven mode has a surface outflow of 15 cm/s and a bottom inflow of 5 cm/s. During the winter, the surface outflow reduces to 5 cm/s, and the inflow current to 1.3 cm/s. The surface outflow can reverse when a persistent wind from the north of greater than 8 m/s occurs. Variations about the mean summer circulation are thus large as 4- to 6-day cyclic wind stress variations are caused by passing weather systems.

For the pre-project condition, the predicted depth, salinity and temperature of the surface layer by the seasonal pycnocline model compared well with observations. For the post-project condition, the model predicts that the largest change will occur in the late winter with a decrease in surface salinity of 1.5 to 2.0‰. In the summer, the reduced runoff will cause a small increase in the surface layer depth which will cause the surface layer to be colder and saltier. Estuarine model results also reproduce the salinity and current observation for the winter and summer pre-project conditions. After hydroelectric development the increase in winter runoff will cause a doubling of the in- and outflow currents.

The winter surface salinity gradients across the bay are shown to increase in response to the increase of the anticlockwise circulation. The surface salinity along the western shore will increase as more saltier Hudson Bay water is brought in, while it will decrease along the eastern shore due to increased runoff. The model results predict a surface salinity decrease of 1.5‰ at the eastern entrance of the bay and an increase of 0.3‰ for incoming water. In the southern part of the bay development on the Rupert River will increase the volume of the river plume 2.0 times and will move into the area

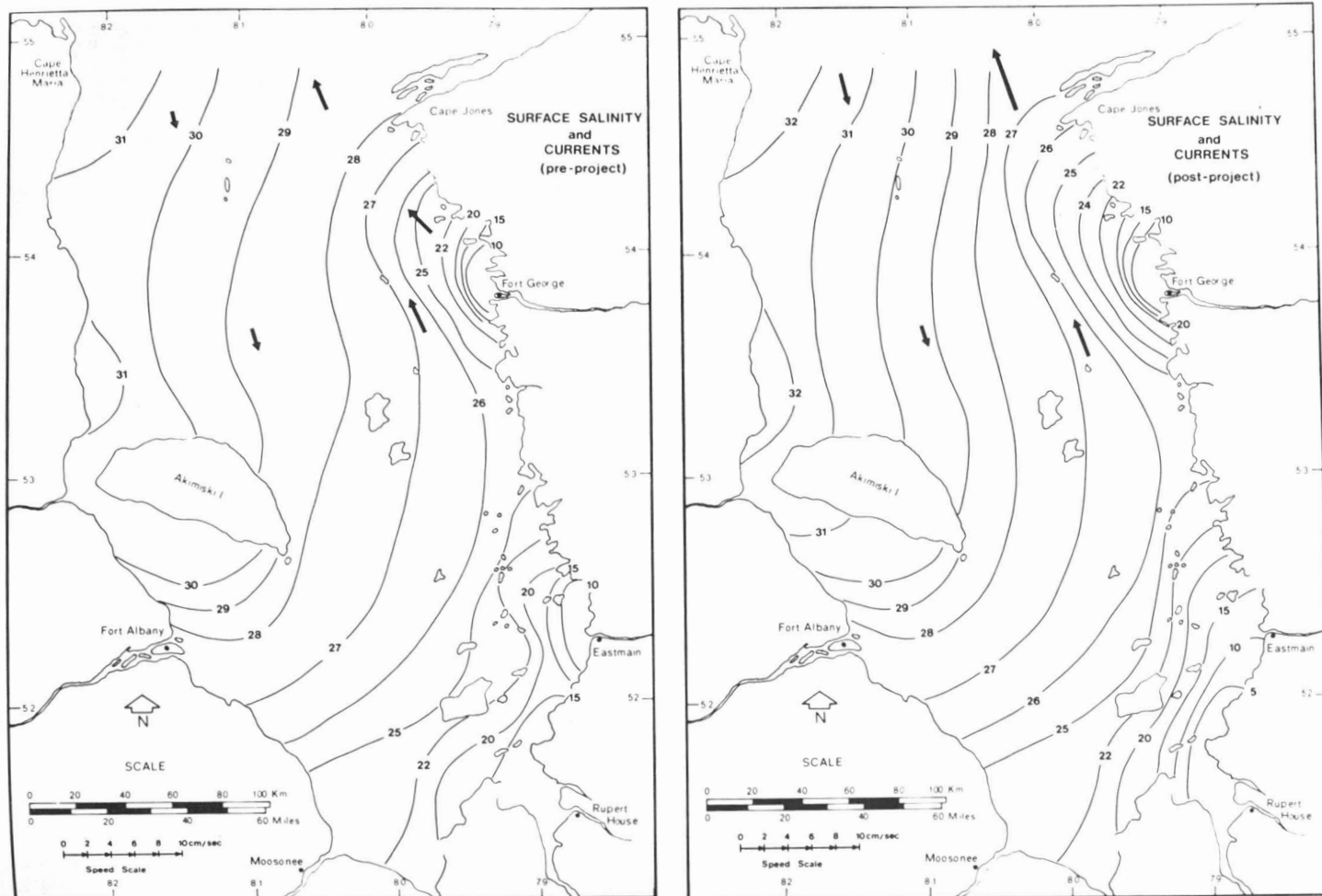


Figure 8. The pre- and post-project winter surface salinity contours and winter surface current magnitude observed and predicted by theoretical models.

now taken up by the Eastmain plume. Surface salinity and current distribution for pre- and post-project conditions are shown in Figure 8. The surface current magnitudes in the northern half of James Bay are shown to double relative to the pre-project observed and calculated values. Increased vertical salinity gradients and currents will cause the region to move towards fjord type circulation as the diffusive fraction of upstream salt flux decreases.

### Acknowledgments

The author would like to thank N.G. Freeman and E.B. Bennett for their numerous discussions of the work and for reading and suggesting changes to the manuscript, and Mrs. B. Fiemming and Mr. J. Anning for the assistance with the programming and analysis of the time-series data.

Mrs. J. Fiddes and Miss M. Martelli are thanked for their patience in typing the various drafts of the manuscript, and Mr. J. Elliot for the cartographic work.

### References

- BARBER, F.G., 1967. A contribution to the oceanography of Hudson Bay. — *Marine Sci. Br., Dept. Mines and Technical Surveys, Ottawa, Ms. Rep. Series, no. 4*, 68 p.
- BARBER, F.G., 1972. On the oceanography of James Bay. — *Marine Sci. Br., Dept. Mines and Technical Surveys, Ottawa, Ms. Rep. Series, no. 24*, 193 p.
- CANADIAN GOVERNMENT, 1968. Climatic normals, Vol. 5, Wind. — *Met. Br., Dept. of Transport, Toronto*, 95 p.
- DANIELSON, E.W. Jr., 1969. The surface heat budget of Hudson Bay. — *McGill Univ., Montréal, Ms. Rep., no. 9*, 196 p.
- EL-SABH, M.I. & V.G. KOUTITONSKY, 1977. An oceanographic study of James Bay before the completion of the La Grande hydroelectric complex. — *Arctic*, 30: 169-186.
- FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT, 1982. Physical, chemical, and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson Bay. — *Naturaliste can.*, 109: 745-764.
- GODIN, G., 1972. The tides of James Bay. — *Marine Sci. Br., Dept. Mines and Technical Surveys, Ottawa, Ms. Rep. Series, no. 24*, 193 p.
- HANSEN, D.V., 1967. Salt balance and circulation in partially mixed estuaries. — Pages 45-51 in G.H. Lauff (ed.), *Estuaries*. American Assoc. Advance Sci., Washington, D.C., 757 p.
- HANSEN, D.V. & M. RATTRAY Jr., 1965. Gravitational circulation in straits and estuaries. — *J. mar. Res.*, 23: 104-122.
- HANSEN, D.V. & M. RATTRAY Jr., 1966. New dimensions in estuary classification — *Limnol. Oceanogr.*, 11: 319-336.
- MURTY, T.S., 1972. Circulation in James Bay — *Marine Sci. Br., Dept. Mines and Technical Surveys, Ottawa, Ms. Rep. Series, no. 24*, 50 p.
- NIILER, P.P. & E.B. KRAUSS, 1977. One-dimensional models of the upper ocean. — Pages 143-172 in E.B. Kraus (ed.), *Modelling and prediction of the upper layers of the ocean*. Pergamon Press, 325 p.
- PECK, G.S., 1978. James Bay oceanographic data report, Vol. 1: Winter, 1975 and 1976 — *Ocean and Aquatic Sciences, Central Region, Fisheries and Environment Canada, Burlington, Data Rep. Series, no. 78-1*, 151 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1977. Hudson Bay oceanographic data report 1975, Vol. 1. — *Ocean and Aquatic Sciences, Environment Canada, Burlington, Data Rep. Series, no. 77-1*, 308 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1978. Analytical study of the circulation of James Bay. — *Ocean and Aquatic Sciences, Environment Canada, Burlington, Ms. Rep. Series, no. 6*, 55 p.
- PRINSENBERG, S.J., 1980. Man-made changes in the freshwater input rates of Hudson and James Bays — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 1101-1110.
- PRINSENBERG, S.J., 1982. Time variability of physical oceanographic parameters in Hudson Bay. — *Naturaliste can.*, 109: 685-700.
- PRINSENBERG, S.J. & F.W. DEYS, 1979. Hudson Bay oceanographic data report V.2. — *Ocean and Aquatic Sciences, Fisheries and Oceans Canada, Burlington, Data Rep. Series, no. 79-4*, 191 p.



## MODÈLES RÉDUITS DE L'ESTUAIRE DE LA GRANDE RIVIÈRE DE LA BALEINE ET DU DÉTROIT DE MANITOUNUK

R. DENIS

*Les Consultants SOGEAM Inc.  
460 rue Saint-Charles ouest, bureau 303  
Longueuil, Québec J4H 1G4*

et

P. DESROCHES

*Service hydraulique, Direction des projets de centrales Hydro-Québec  
855 rue Sainte-Catherine est, Montréal, Québec H2L 4P5*

### Résumé

L'Hydro-Québec projette d'aménager la Grande rivière de la Baleine qui déverse ses eaux dans la baie d'Hudson à quelque 1 200 km au nord de Montréal. Au kilomètre 77, un barrage serait implanté qui bloquerait les eaux de cette rivière, les détournant vers la centrale GB-1 qui, après turbinage, les restituerait avec les eaux dérivées de la Petite rivière de la Baleine vers le détroit de Manitounuk.

Afin de mieux saisir les répercussions environnementales de cet aménagement sur l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et sur le détroit de Manitounuk, l'Hydro-Québec confia en 1976 au Laboratoire d'hydraulique Lasalle le soin de construire un modèle réduit de chacun de ces milieux. Les conditions naturelles et post-aménagement de marée, de niveau, de courant et de salinité furent reproduites et comparées. En outre, les essais sur le modèle de l'Estuaire permirent une étude morpho-sédimentologique et une simulation de l'activité de la houle.

Pour les conditions qui prévaudront après la coupure fluviale, un débouché minimal moyen est assuré à l'embouchure de l'Estuaire; les courants y seront renversés et les vitesses maximales y atteindront  $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pendant les étiages; le mode de variation des niveaux d'eau ne changera pas dans la partie inférieure, la baie d'Hudson demeurant l'élément de contrôle. Somme toute, l'usage que la population de Poste-de-la-Baleine fait de ce secteur de l'estuaire pour ses déplacements et son approvisionnement par voie d'eau, ne devrait pas être perturbée. Par contre, l'intrusion saline, affectera assurément la prise d'eau du village et la zone potentielle de frayères située dans la partie supérieure de l'Estuaire. Des correctifs ont été examinés sur modèle.

Suite aux essais sur le modèle du détroit de Manitounuk, divers moyens ont été identifiés qui permettraient, pour diverses considérations écologiques, d'agir sur le taux de mélange du débit d'eau douce ( $704 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) restituée par le canal de fuite de GB-1 avec l'eau salée (25%) du Déroit: variations des éléments de conception du canal, de la localisation et de l'orientation de celui-ci ainsi que de la vitesse d'injection. L'action du vent n'a pu être étudiée que qualitativement.

### Abstract

Hydro-Québec intends to develop La Grande rivière de la Baleine which is flowing into the Hudson Bay, some 1,200 km north of Montréal. The construction of a dam, 77 km upstream, will block its waters along with those of La Petite rivière de la Baleine which has been diverted. Once having left the turbines at the GB1 power house, the waters will flow towards Manitounuk Sound.

In order to have a better understanding of the environmental impacts this hydroelectric development could have upon the estuary of La Grande rivière de la Baleine and the Manitounuk Sound, Hydro-Québec, in 1976, requested *Le Labora-*

toire d'hydraulique Lasalle, to build up a scale model of these two water bodies. The tides, the water level and the currents along with the salinity were reproduced and compared. Furthermore, tests on the scale model of the estuary conducted to the study of the morpho-sedimentology and wave action.

After the fluvial damming, an average minimum outlet will be maintained at the mouth of the estuary; the currents will be reversed and the maximum velocity will reach  $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  during periods of low flow; the water level will not change in the lower part, since it is controlled by the Hudson Bay. Consequently, people living in the town of Poste-de-la-Baleine will not be troubled in its moves and supplies by waterway. On the other hand, the penetration of salt water will surely affect the village drinking water supply and the spawning ground lying in the upper part of the estuary. Some ways of solving this problem have been studied on the scale model.

Tests performed on Manitounuk Sound scale model have confirmed that it is possible, for different ecological purposes, to act upon the mixture rate of fresh waters ( $704 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) flowing from the GB-1 hydroelectric power station and marine waters (25‰), by changing the design of the discharge canal, its location and orientation and the speed with which fresh water meets the salt water. Finally wind action was also studied but only qualitatively.

### Introduction

En 1975, dans le cadre des études préliminaires de l'aménagement du complexe hydro-électrique de la Grande rivière de la Baleine (bassin de la baie d'Hudson, fig. 1), le groupe *Génie de l'Environnement* de l'Hydro-Québec suggéra la construction de modèles réduits pour l'étude des modifications physiques susceptibles de survenir, après l'aménagement, dans l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et dans le détroit de Manitounuk (fig. 2).

Bien que l'utilisation de modèles physiques soit de pratique courante et reconnue pour les études de conception et de calibration des ouvrages hydrauliques, l'emprunt de cette technique pour l'étude de problèmes environnementaux, dès l'étape des études préliminaires, était une première à l'Hydro-Québec. La construction des modèles des deux milieux précités et la réalisation des essais furent confiées au Laboratoire d'hydraulique Lasalle. Quant au programme d'études, il fut coordonné par le Service hydraulique de l'Hydro-Québec.

Après une première année de recherches sur le terrain, les problèmes soulevés ont suscité l'étude, sur le modèle de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine, de l'effet de la réduction (84%) du débit fluvial détourné vers la centrale GB-1 (fig. 2), sur: (1) l'intrusion saline, (2) la vitesse des courants, (3) l'ensablement et/ou l'érosion et (4) la variation des niveaux d'eau.

Sur le modèle du détroit de Manitounuk, on étudia l'effet de la restitution, dans ce bras de mer, des eaux douces détournées vers la centrale GB-1, sur (1) le taux de salinité et sa distribution spatiale, (2) la vitesse

et la direction des courants de surface, (3) la circulation générale des eaux de surface et de fond et le temps de séjour des eaux dans le Déroit et (4) l'accumulation et/ou l'érosion de sédiments fins.

Le recours à des modèles réduits avait pour but d'obtenir une vision globale et intégrée des phénomènes étudiés, autant dans les conditions naturelles actuelles que dans les conditions post-aménagement. Compte tenu des limitations imposées aux interprétations quantitatives par les distorsions spatiales des modèles, cela devait permettre, par une interprétation appropriée des données obtenues sur ces modèles, de cerner la problématique et de mieux définir le programme des études à poursuivre. Les modèles devaient être aussi un outil de réflexion sur les aménagements correcteurs ou sur les modifications à apporter à la conception de certains ouvrages susceptibles de mieux contrôler les répercussions éventuelles de la réalisation de ce projet hydro-électrique.

Le présent article expose les questions que les responsables de ces études ont voulu clarifier et décrit des essais sur modèles réduits, dont la technique fait encore l'objet de sérieuses discussions quant aux distorsions acceptables et à l'interprétation des résultats (Alam, 1977; Boivin, 1977).

### Caractéristiques du projet d'aménagement

L'aménagement hydro-électrique de la Grande rivière de la Baleine se situe à quelque 1200 km au nord de Montréal (fig. 1). Il regroupe les bassins hydrographiques de la Grande rivière de la Baleine et de la Petite rivière de la Baleine dont les

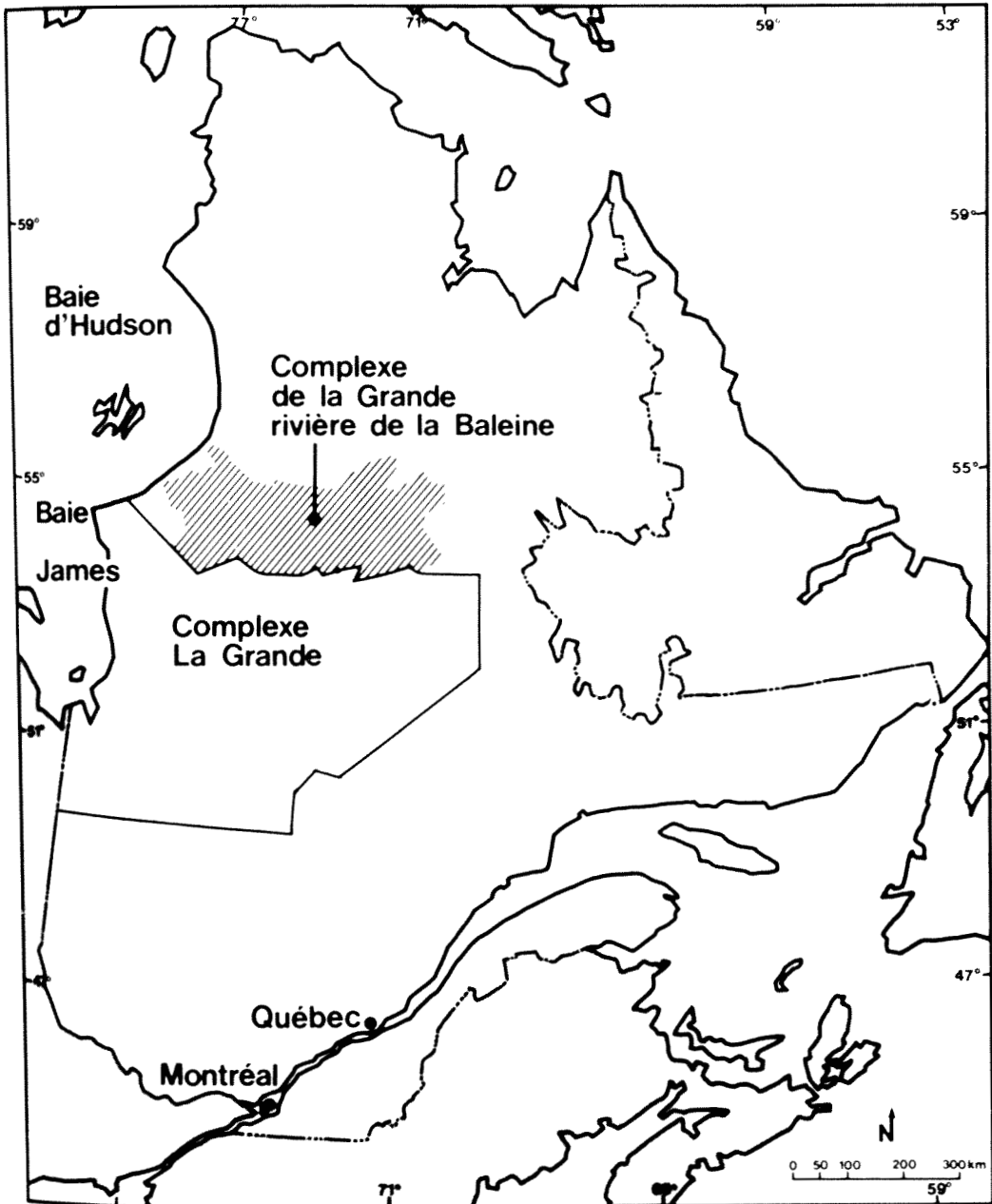


Figure 1. Localisation du complexe de la Grande rivière de la Baleine.

eaux s'écoulent vers la baie d'Hudson. La superficie de ce territoire totalise 59 400 km<sup>2</sup>, soit environ le tiers de celle du complexe La Grande. Quant à son potentiel hydraulique de 2 880 MW environ (pour un facteur d'utilisation de 60%), il équivaut à un peu moins de 30% de celui du complexe La Grande et à près de 15% de la puissance installée au Québec en 1981.

Le projet d'aménagement hydro-électrique comprend trois centrales à réservoir: GB-1, située dans la vallée de la Domanchin, GB-2 et GB-3, le long du cours de la Grande rivière de la Baleine. L'aménagement comporte aussi un réservoir de tête situé au lac Bienville, ainsi que la dérivation des eaux du cours supérieur de la Petite rivière de la Baleine et de la Grande rivière de la Ba-



leine vers le réservoir de la centrale GB-1. À l'aide d'ouvrages de coupure et de digues de retenue, les eaux du complexe seraient emmagasinées dans le réservoir GB-1, réduisant sérieusement le débit du cours inférieur de la Grande rivière de la Baleine. Les eaux ( $704 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) détournées seraient turbinées à la centrale GB-1 et restituées à partir d'une hauteur d'environ 190 mètres dans le détroit de Manitounuk qui est en communication directe avec la baie d'Hudson (fig. 2).

### Modèles réduits et méthode

#### ECHELLES

Le modèle de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine reproduit cet estuaire depuis son embouchure jusqu'au pied des premières chutes qui le délimitent à l'amont, soit sur 12,7 km. Il se prolonge du côté de la mer par un bassin dont la largeur et la longueur en nature sont respectivement 2,4 km et 3,0 km. L'échelle de ce modèle est de 1/400 pour l'horizontale et de 1/75 pour la verticale (fig. 3A). L'échelle des vitesses est de 1/8,66 et celle des débits liquides de  $1/25,9 \times 10^4$ . L'échelle du temps hydraulique est donc de 1/46,19 et une période de marée est reproduite au modèle en 16,13 minutes (Boivin, 1977).

Malgré sa longueur supérieure à 30 m, le modèle du détroit de Manitounuk a une échelle plus petite, soit 1/2 000 pour l'horizontale et 1/160 pour la verticale, puisqu'il fallait représenter un milieu qui, en réalité, a une longueur de 55 km, une largeur de 5 km et une profondeur maximale d'environ 50 m (fig. 3B). L'échelle des vitesses d'écoulement y est donc de 1/12,65 et celle des débits de  $1/40,5 \times 10^5$ . En raison de l'échelle du temps hydraulique de 1/158,1, une période de marée sur le modèle se déroule en 4,72 minutes d'essai (Alam, 1977).

Pour les deux modèles, la profondeur des milieux à modéliser était d'un ordre de grandeur inférieur à leur longueur. Des considérations autant théoriques que pratiques ont guidé le choix des échelles et ont fait retenir une valeur élevée de distorsion entre les échelles verticale et horizontale; ceci permettait de bien y observer les phénomènes sur la verticale, notamment la distribution de la salinité. Toutefois, bien que partiellement compensées par une rugosité amplifiée sur les modèles, de telles distorsions d'échelles par rapport à la dyna-

mique de certains phénomènes analysés imposent des limites à l'interprétation des résultats obtenus sur ces modèles. Aussi l'approche est-elle plutôt qualitative que quantitative.

#### RAPPORTS DE SIMILITUDE

Les deux modèles sont en similitude de Froude de telle sorte que la relation des échelles du temps hydraulique et de l'espace y est définie pour l'interprétation des phénomènes hydrauliques. Bien que l'effet d'entraînement du vent sur la surface de l'eau ne pouvait être reproduit en similitude sur ces deux modèles, l'effet de la houle sur les sédiments de fond de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine fut cependant reproduit sur le modèle de cet estuaire.

Les rapports de similitude sont différents pour le transport des sédiments par les courants fluviaux et de marée et pour le transport par la houle. Aussi, afin de reconstituer l'activité du transport littoral par les houles au débouché de la rivière, on a choisi de la pierre ponce de densité ( $\rho'$ ) égale à 1,35 et dont l'échelle du diamètre était de 0,76 (critère du début d'entraînement) et celle des temps sédimentologiques de  $\sim 1/10\,500$ , valeur déterminée empiriquement (critère du débit de transport littoral). L'action des courants fluviaux et de marée fut reproduite à l'aide de particules de polystyrène et de gilsonite dont la densité était moins élevée ( $\rho'$ : 1,05) et dont les échelles du diamètre et des temps sédimentologiques étaient respectivement de 2,28 et de  $\sim 1/18\,200$  (critère du débit solide charrié sur le fond).

Le modèle étant à fond fixe, dans l'estuaire supérieur, l'étude sédimentologique se fit par examen du champ des courants et par l'emploi d'une mince couche de grains de gilsonite (équivalents à des sables d'environ 0,4 mm en nature) étendus sur le lit estuarien avant d'y introduire différents débits fluviaux. Les principales zones d'érosion et de dépôts ont ainsi pu être identifiées.

#### CAMPAGNES DE RELEVÉS ET CALIBRATION

Plusieurs campagnes de collecte de données de base ont été menées par les équipes du Service des relevés techniques de la Direction des projets de centrales de l'Hydro-Québec. Il s'agissait de relevés d'ordre topographique, bathymétrique, de prélèvement et d'analyse de sédiments de fond.

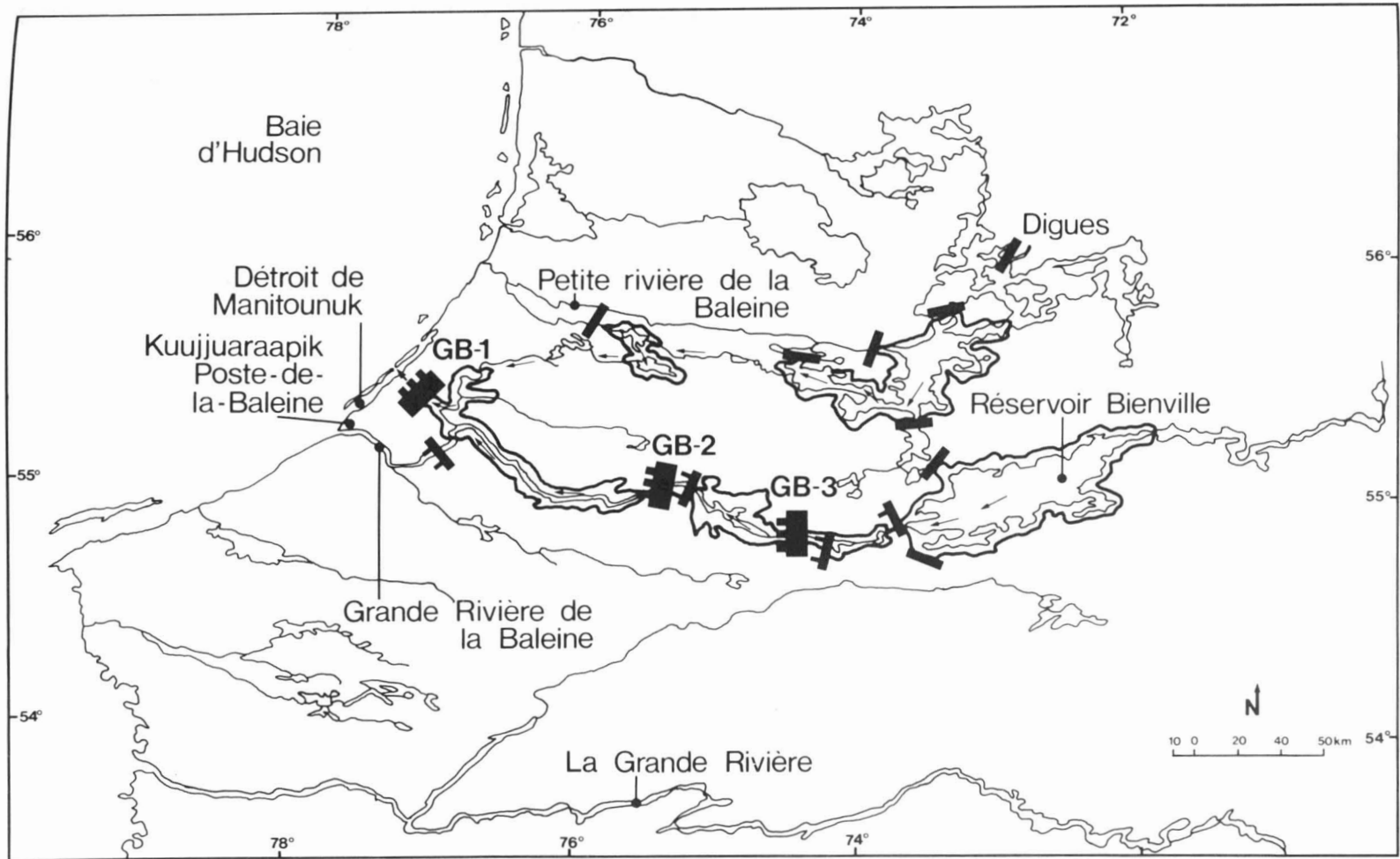


Figure 2. Schéma général de l'aménagement hydro-électrique du complexe de la Grande rivière de la Baleine.

de mesures de température, de salinité, de courants dans les diverses conditions de marée, de débits, en été comme hiver. Des données préliminaires recueillies, sur la bathymétrie des fonds, par le Groupe inter-universitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ) ont également servi à la mise au point finale du modèle du détroit de Manitounuk. Tous ces relevés permirent d'assurer la fiabilité de la reproduction de la géométrie des milieux étudiés, de calibrer les modèles et de contrôler les résultats des essais.

Compte tenu des lois de modèle hydraulique, des essais de vérification ont démontré que les deux modèles réduits reproduisaient de façon acceptable le régime hydraulique des milieux considérés, notamment en y simulant de façon satisfaisante la propagation de la marée dans l'Estuaire et le Déroit.

#### APPAREILLAGE ET INSTRUMENTATION

Dans les deux cas, la marée a été reproduite à l'aide d'un volet déversant qui est soit rabattu, soit relevé suivant que la marée descend ou monte. Son mouvement est commandé par une came. Quant à la houle, elle fut représentée seulement sur le modèle de l'Estuaire; ce sont des batteurs très courts qui la créaient en générant une onde presque circulaire. Du sel fut utilisé dans les deux modèles pour approcher les conditions naturelles de salinité, respectant l'échelle de densité qui est de 1/1. Des colorants furent ajoutés pour visualiser les transports de masse et le mélange eau douce-eau salée (fig. 3).

Les débits ont été mesurés à l'aide d'orifices calibrés et les niveaux l'ont été au moyen de limnimètres enregistreurs à pointe vibrante. Par ailleurs, des sondes électriques ont permis de relever les concentrations de sel. Quant aux vitesses et aux directions des courants, elles furent étudiées à partir des enregistrements vidéo du mouvement de petits flotteurs en polyéthylène ou de confettis.

### Essais et résultats

#### MODÈLE DE L'ESTUAIRE

##### *Morpho-sédimentologie*

Les premiers essais sur le modèle de l'estuaire de la Grande rivière de la Baie portaient sur l'évolution morpho-

sédimentologique de la flèche de sable située à l'embouchure de la rivière. Cette pointe fut comparée dans des conditions *avant et après aménagement* en utilisant la configuration de la flèche dite *en état d'équilibre dynamique*. A cet endroit, le transport des sédiments de fond par la houle s'oppose à l'action combinée des courants de marée et des courants fluviaux.

En raison de la différence des rapports de similitude régissant la modélisation des transports de fond par la houle et celle des transports par les courants fluviaux et de marée, ces essais furent exécutés en deux étapes. Premièrement, on procéda à des essais reconstituant la construction de la pointe de flèche par la houle du large entraînant les sédiments littoraux reproduits à l'aide de pierres ponces. Deuxièmement, après avoir substitué ce matériau par de la gilsonite, on réalisa des essais au cours desquels on observa la destruction de cette flèche par l'effet combiné des courants de marée et des courants fluviaux. Dans ce dernier cas, on introduisit une série de débits fluviaux correspondant à un hydrogramme de débits équivalent, étalé sur trois années consécutives, de telle sorte que chacun des paliers de débits représentatifs de cet hydrogramme dure sur modèle au moins aussi longtemps qu'une marée. Autrement dit, la durée de chaque débit mensuel est multiplié par un facteur 3. Rappelons que pour l'une et l'autre étape, l'échelle des temps sédimentologiques est distincte de celle des temps hydrauliques (voir *Rapports de similitude*); ceci impose une transposition des résultats lors de leur interprétation.

Au cours des essais, un chenal minimal moyen se forme, à l'embouchure. Dans des conditions moyennes post-aménagement, son établissement prendrait environ une quinzaine d'années. La section est alors deux fois inférieure à celle du débouché façonné dans les conditions actuelles. C'est particulièrement la largeur qui change, passant d'environ 330 m à 190 m alors que la profondeur est peu modifiée, passant de 5,3 m à 4,5 m. Notons qu'une suite de tempêtes plus sévères que les conditions moyennes simulées au modèle pourrait accélérer ce processus.

Du côté de l'estuaire supérieur, une accumulation de sédiments s'effectue actuellement dans les baies à l'aval des îles qui s'y trouvent ainsi que dans le thalweg. Après les aménagements, les vitesses d'écou-

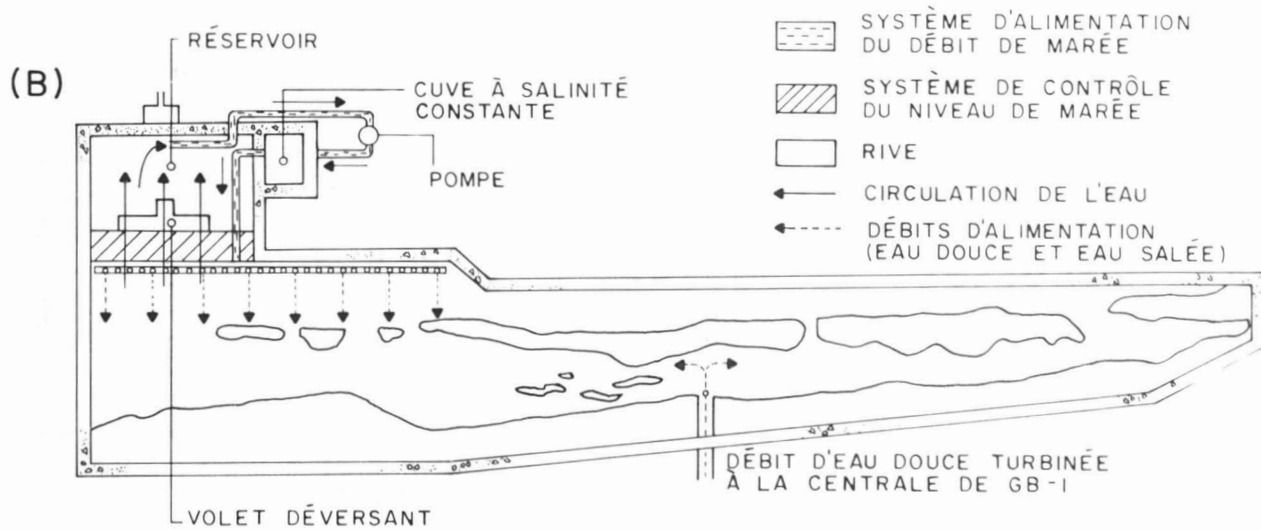
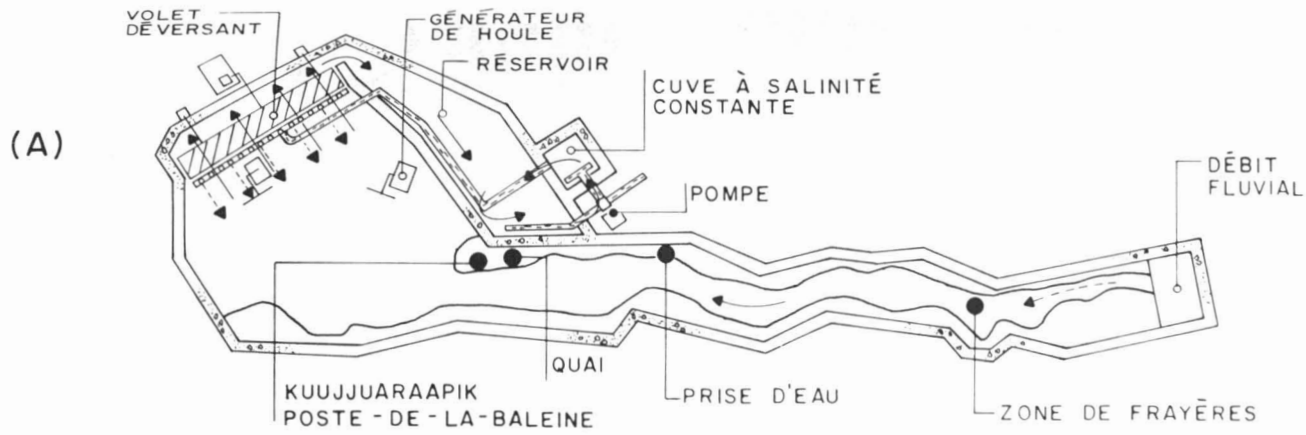


Figure 3. Modèles réduits A) estuaire de la Grande rivière de la Baleine, B) détroit de Manitousuk.

lement seront réduites par suite de la coupe du débit en amont. Cette intervention favorisera une sédimentation lente sur l'ensemble de l'estuaire, sauf dans la zone de hauts-fonds située dans la partie amont et qui correspond à la zone de frayères potentielle. Cependant cette tendance sera atténuée du fait que les apports fluviaux, que l'on considère déjà peu importants à l'état naturel, seront davantage limités après la coupe des débits au kilomètre 77.

Tout compte fait, l'évolution sédimentologique ne gênerait pas la navigation et la circulation, un passage de dimension respectable étant assuré à l'embouchure. La région du quai est une zone de décollement et de faibles vitesses d'écoulement favorable à l'accumulation de sédiments, mais les apports de sédiments fluviaux seront réduits après aménagement. En contrepartie, à la marée montante, le renversement des courants augmentera à l'embouchure les apports maritimes de sédiments mis en suspension par la houle. Les essais ont montré que ces sédiments pénétreraient plus profondément dans l'Estuaire et s'étaieraient sur une superficie plus grande. La combinaison de tous ces éléments permet de croire qu'il n'y aura pas de problèmes majeurs d'ensablement dans la zone du quai.

#### *Marées et niveaux*

C'est le niveau de la mer qui contrôle les niveaux d'eau dans l'ensemble de l'Estuaire. Il n'y aura donc pas de modification de ces niveaux, suite à la coupure prévue du débit fluvial, à l'exception toutefois de la partie supérieure où le marnage sera augmenté, les niveaux de basse mer étant abaissés.

Compte tenu de ce fait, la population de Poste-de-la-Baleine pourra continuer à utiliser les rives et à entreposer ses embarcations de la même façon qu'elle le fait présentement. La zone de frayères potentielle, localisée dans la partie amont de l'estuaire, serait touchée par les variations de niveaux qui y prévaudraient. De plus, la navigation à marée basse y serait plus difficile en raison de l'abaissement des niveaux de basses mers.

#### *Courants*

Dans les conditions naturelles, à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, il n'y a pas de renversement du cou-

rant de surface, mais une du courant de fond. Les vitesses maximales y sont de l'ordre de  $1.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  durant le jusant et de  $0.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , lors du flot, pour une crue de  $849 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (qui correspond à celle du printemps de 1976 utilisée pour calibrer le modèle et qui est légèrement supérieure au module annuel).

Après l'aménagement, les courants de surface, à l'embouchure, se renverseront au flot et les vitesses maximales atteindront  $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pendant les étiages ( $Q = 139.3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) (débits simulés au modèle) tant durant le flot que durant le jusant. Ces vitesses seront équivalentes ou légèrement plus élevées pour une crue moyenne ( $Q = 1\,021.9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) (débits simulés au modèle).

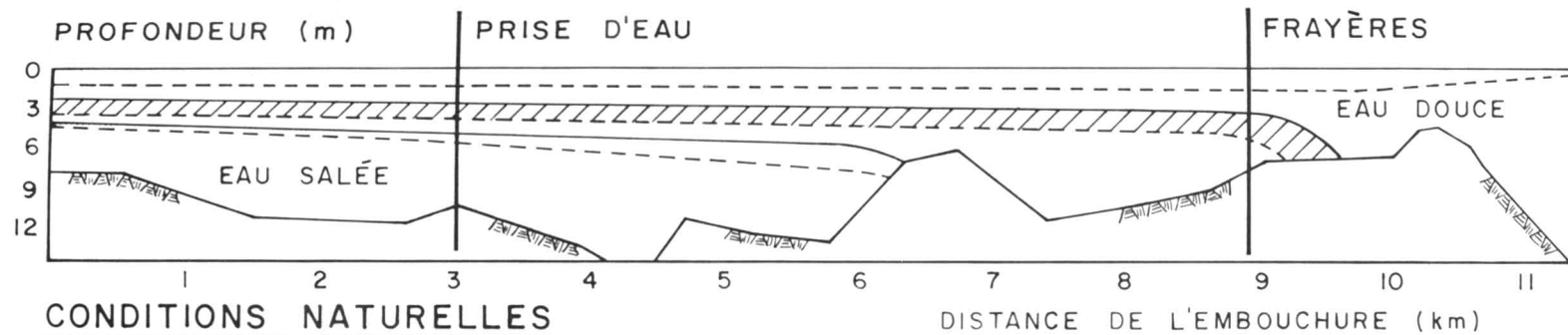
Ces modifications d'ordre hydraulique ne devraient pas gêner outre mesure la navigation dans l'Estuaire inférieur. Elles devraient même faciliter l'entrée des chalands de ravitaillement au flot. Cependant il faudra prévoir l'effet du renversement des courants sur les manœuvres d'amarrage des embarcations.

#### *Intrusion saline*

Dans des conditions d'étiage et de mauvais temps, l'intrusion saline peut actuellement remonter dans le thalweg sous forme de coin salin jusqu'à la zone de hauts-fonds. Pour un débit légèrement supérieur au module annuel, le coin salin est cependant refoulé jusqu'à l'embouchure (fig. 4).

Après aménagement, l'intrusion saline envahira la presque totalité de l'Estuaire; après la coupure du débit fluvial, elle continuera assurément la prise d'eau du village. Celle-ci l'était cependant déjà naturellement par des débits d'étiage et dans des conditions de mauvais temps. La zone de frayères potentielle ne sera pas non plus épargnée (fig. 4).

Des essais sommaires effectués sur le modèle montrent qu'un système de digues submergées pourrait empêcher l'avancement du coin salin dans la zone de frayères et offrir une solution à la relocalisation de la prise d'eau. Toutefois, il s'ensuivrait une absence de marnage, une réduction des vitesses d'écoulement et une capacité amoindrie de transport d'éléments nutritifs qui feraient de cette zone un habitat potentiel de fraie moins intéressant pour les poissons anadromes.



— MARÉE HAUTE      ▨ DÉBIT D'ÉTIAGE  
 - - - - - MARÉE BASSE      □ DÉBIT MOYEN

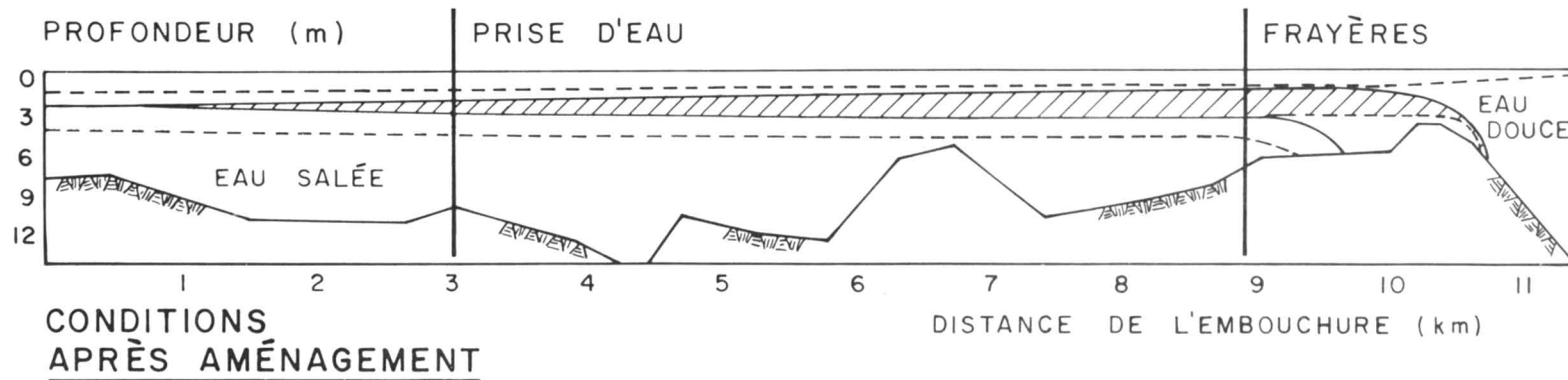


Figure 4. Intrusion saline dans l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine pour des conditions de marée moyenne.

## MODÈLE DU DÉTROIT

Les essais sur le modèle du détroit de Manitousuk étaient surtout orientés vers la connaissance des changements possibles des distributions de salinité et des courants par rapport aux conditions présentes.

Seuls pouvaient être reproduits sur modèle comme agents de mélange, la marée, la vitesse et le débit de l'eau douce turbinée et restituée par le canal de fuite de GB-1, depuis un point situé à mi-chemin entre l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et le fond du Déroit (fig. 3B). Les effets de la houle ne pouvaient y être simulés. On a cependant réalisé des essais à l'aide d'un ventilateur pour apprécier de façon qualitative l'effet d'entraînement des vents soufflant dans l'axe du Déroit.

Les principaux paramètres qu'on a fait varier sont les suivants : la vitesse d'injection à la sortie du canal de fuite, la direction du jet, l'emplacement du point de restitution et l'amplitude de la marée.

Quelques essais supplémentaires ont été effectués en modifiant la géométrie des différentes passes afin de tenter de connaître leur contribution au mélange.

### Vitesses d'injection

Il est possible d'agir sur le taux de mélange de l'eau douce restituée par le canal de fuite de GB-1 avec l'eau salée (25‰) du déroit en faisant varier certains paramètres de conception du canal de fuite. On peut faire varier la largeur, la profondeur du canal de fuite et la vitesse d'arrivée de cette eau dans le Déroit et contrôler ainsi sensiblement la salinité de surface et l'épaisseur de la couche qui sera affectée par le mélange. Des essais ont donc été réalisés en changeant la profondeur du canal de fuite et de ce fait, en faisant varier la vitesse de restitution.

Quand la vitesse d'injection est faible, il y a réduction appréciable de la salinité sur toute la surface du Déroit. Sa concentration passe de 25‰ à 6‰ et l'épaisseur de la couche affectée est de 2 à 3 m. Il y a disparition du renversement des courants de surface du point de restitution jusqu'à l'entrée du déroit. Entre les petites îles Paint situées au S.-O. du canal de fuite de GB-1, soit à mi-chemin entre l'entrée et le fond du Déroit et l'île Merry de l'archipel de Manitousuk, sise en face du même canal, il y a augmentation des vitesses de courants

de l'ordre de 40 cm·s<sup>-1</sup>. Enfin, de grands tourbillons se forment devant ce point de rejet d'eau douce.

Si on augmente la vitesse d'injection, on assure alors un meilleur mélange. Le taux de salinité passe alors en surface de 25‰ à 15‰. Sur le plan écologique, ces résultats peuvent être considérés comme acceptables. La salinité à l'entrée du Déroit est alors plus élevée qu'au centre; il en est de même à la tête du Déroit où une couche de 8 m est affectée. Quant aux courants, leur vitesse s'accroît comme dans le cas précédent et des tourbillons se développent également.

Ces essais nous ont aussi permis de visualiser l'effet dit de *rejet noyé* ou un coin salin envahit le fond du canal sur une certaine longueur, comme cela se produit dans beaucoup d'estuaires. Cet effet exerce une limitation sur le taux de mélange minimum et ne nous permet pas toute la liberté souhaitée quant au choix du rapport de la profondeur et de la largeur du canal de fuite.

### Direction du jet au site initial

Dans la recherche d'une solution donnant un mélange minimum et une plus grande évacuation de l'eau de faible salinité vers l'entrée du Déroit, on a mis à l'essai diverses variantes de restitution en réunissant ou en allongeant les îles Paint au moyen de digues artificielles (fig. 5).

Deux essais de variantes ont été faits impliquant une fermeture partielle des passages entre les îles. Ces modifications entraînent un ralentissement des vitesses et un mélange considérablement réduit. Le taux de salinité de surface s'abaisse à 2‰ et affecte une épaisseur inférieure à 2 m.

Un essai a été fait avec une fermeture complète des ouvertures entre les îles, forçant ainsi l'écoulement par une seule passe au S.-O. Les vitesses ont alors sensiblement augmenté en bordure de la côte; elles peuvent varier entre 0,5 m·s<sup>-1</sup> et 1,30 m·s<sup>-1</sup>. Il en résulte un meilleur mélange. La teneur en sel s'abaisse à 15‰ depuis une valeur originale de 25‰ et la couche affectée est de l'ordre de 2 m. Cette dernière variante favorise un transport et une sédimentation plus grande des particules érodées le long de la côte, notamment en approchant de l'entrée du Déroit.

### *Emplacement du point de rejet*

L'implantation du canal de fuite en amont du site initial, soit dans la vallée Domanchin, a tendance à diminuer plus ou moins la salinité de surface ou à épaissir plus ou moins la zone d'influence suivant qu'on oriente le jet vers l'intérieur ou l'entrée du Déroit. Cependant, dans l'ensemble, les résultats obtenus sont relativement voisins de ceux obtenus avec restitution dans la vallée Le Bel (fig. 5).

Dans le cas particulier où la sortie du canal est dans l'axe de la passe Schooner du côté des îles de Manitounuk, il n'y a pas augmentation significative de l'évacuation de l'eau saumâtre par ce passage au cours d'un cycle complet de marée. La direction transversale des courants de marée a alors pour effet d'augmenter la profondeur de la stratification et l'épaisseur de l'interface. Lors d'observations de l'écoulement dans les passes, on a pu visualiser à l'occasion du flot un coin salin progressant dans la passe Boat située au fond du Déroit. Cela n'est qu'une illustration de la complexité de l'écoulement qui peut prévaloir dans ces passes et de leur contribution à la dynamique du Déroit.

### *Effet du vent*

Des essais qualitatifs de l'effet du vent ont montré que les vents du S.-O. diminuent la salinité et augmentent l'épaisseur de la couche affectée. Quant aux vents soufflant du N.-E., ils chassent l'eau saumâtre de façon plus marquée vers l'entrée du Déroit.

Les passes Boat et Schooner limiteront sans doute l'abaissement de la salinité de surface du Déroit. En effet, un courant de densité devrait alors s'établir dans les passes lorsque la différence de salinité s'accroîtrait entre les eaux de la baie d'Hudson et les eaux de surface du Déroit.

### *Arrêt de la centrale*

L'arrêt de la centrale aurait pour effet de créer des conditions similaires à celles qui existent présentement à la fin du printemps quand la Grande rivière de la Baleine connaît sa crue et injecte ce surplus d'eau douce dans le Déroit. Au modèle, il faut environ 20 jours pour que la totalité d'eau saumâtre soit remplacée par l'eau de mer.

L'arrêt de la centrale pose un autre problème: la remontée d'un coin salin vers les turbines. Un essai a été réalisé pour rendre

visible ce phénomène avec la variante comprenant la fermeture des îles Paint. Toutefois la conception du canal de fuite devra être finalisée à l'aide d'un modèle à plus grande échelle et restreint à la zone de rejet.

### CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

Au plan écologique, l'injection d'eau douce dans le déroit de Manitounuk favorisera une augmentation du courant de retour compensatoire des eaux profondes de la baie d'Hudson vers le déroit de Manitounuk. Des essais avec colorant illustrent bien cet effet qui devrait induire une plus grande remontée d'éléments nutritifs. Le temps de résidence dans la partie située entre le point de restitution de l'eau de GB-1 et l'entrée du Déroit serait cependant diminué; à l'extrémité N.-E. du Déroit, il demeurerait semblable ou serait même accru. Par ailleurs, les caractéristiques de conception du canal de rejet, son emplacement et son alignement ainsi que certains travaux correcteurs peuvent atténuer considérablement les modifications du profil de salinité et des vitesses et même restreindre sensiblement les effets à une partie du Déroit. Ainsi le milieu biologique pourrait ne pas être trop perturbé.

Concernant le transport des sédiments, à ce stade des études, le problème a été considéré comme mineur, vu, d'une part, l'importance relativement réduite des apports de particules (sauf au début de l'exploitation) et, d'autre part, de l'existence de fosses profondes dans le Déroit.

### Conclusion

Les modèles réduits de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et du déroit de Manitounuk se sont avérés des outils intéressants de description globale et condensée dans le temps et dans l'espace, de différentes conditions physiques naturelles de ces milieux qu'utilise la population de Poste-de-la-Baleine. Ce sont aussi des instruments valables de prédiction de l'évolution consécutive aux aménagements projetés par l'Hydro-Québec. De plus, en vue de protéger l'environnement, des aménagements correcteurs et des modalités de construction et d'exploitation ont pu être suscités à partir des essais sur ces modèles physiques.



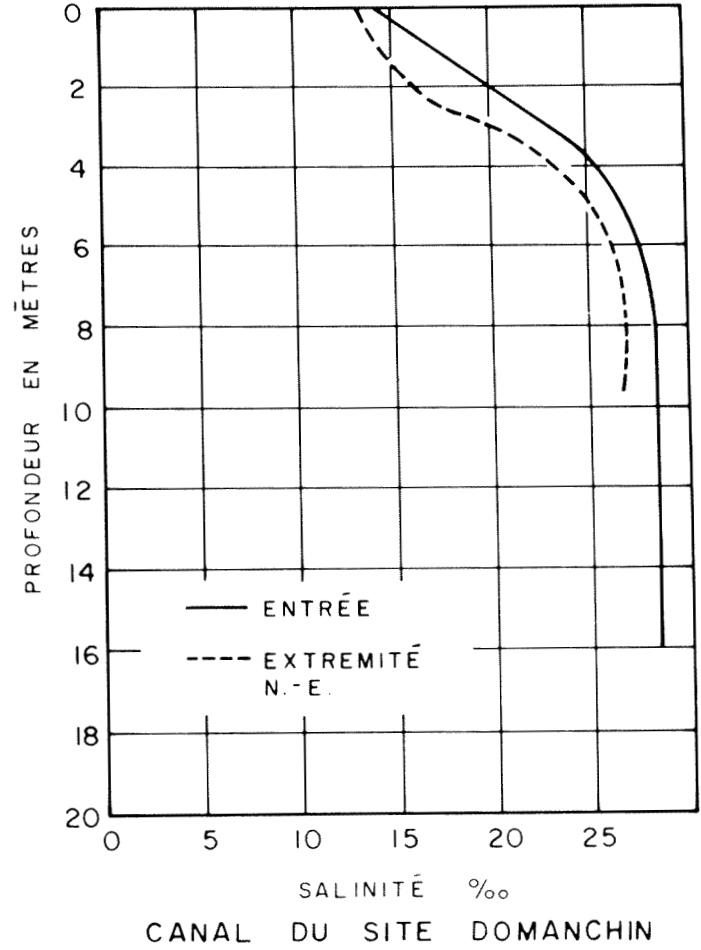
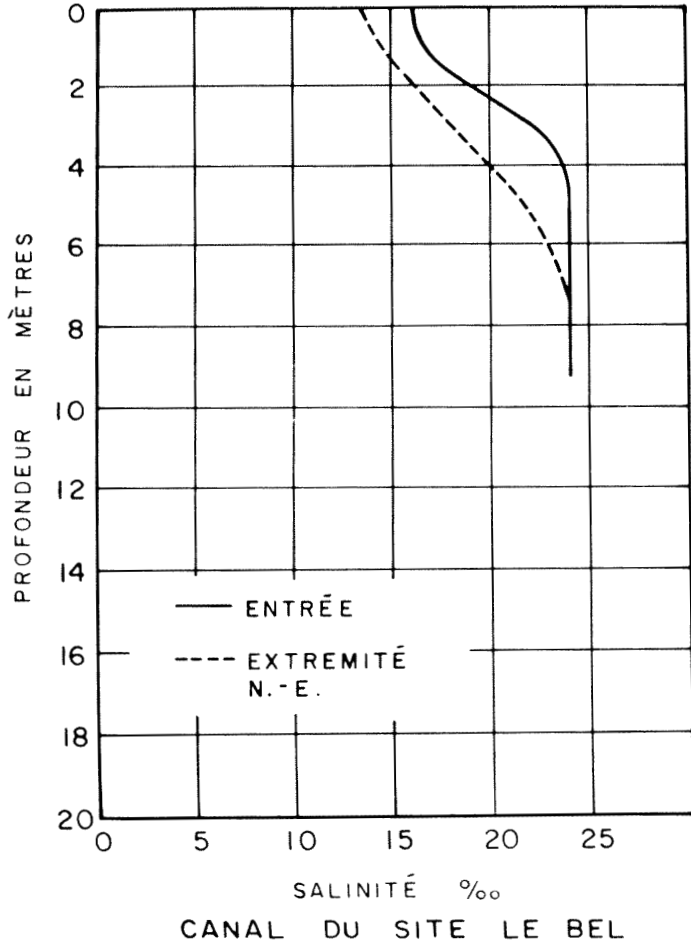


Figure 5. Distribution verticale de la salinité aux deux extrémités du détroit de Manitousuk pour des conditions moyennes.

Bien sûr, des limitations sont imposées aux interprétations quantitatives des paramètres, notamment par les distorsions d'échelles, compte tenu des rapports de similitude de certains des phénomènes étudiés. Mais la réflexion suscitée par ces modèles, au stade d'études préliminaires, ne fut pas négligeable. Ceux-ci ont aidé à définir la problématique de l'aménagement hydro-électrique en regard des milieux côtier et estuarien considérés.

### Références

- ALAM, S., 1977. Étude sur modèle réduit du détroit de Manitousuk dans les conditions actuelles et après les aménagements. — Laboratoire d'hydraulique LaSalle Ltée, LHL n° 697, 2 vol., Montréal, 198 p.
- BOIVIN, R., 1977. Estuaire de la Grande rivière de la Baleine. Étude sur modèle réduit. — Laboratoire d'hydraulique LaSalle Ltée, LHL n° 696, Montréal, 49 p.



## DEMANDE EN OXYGÈNE DES SOLS ET ARBRES NOYÉS DU RÉSERVOIR LA GRANDE 2, BAIE JAMES

J. B. SÉRODES

Département de génie civil, Faculté des sciences et de génie  
et Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, Québec G1K 7P4

### Résumé

Lors de la mise en eau d'un réservoir, l'inondation de grandes superficies supportant une végétation variée a pour conséquence de modifier rapidement les caractéristiques originales de l'eau et de se traduire, entre autres, par une baisse importante de l'oxygène dissous pouvant aller jusqu'à des conditions anoxiques au fond, en période de stratification des eaux. Dans le but de quantifier la demande en oxygène exercée par les sols (D.O.S.) représentatifs du territoire de La Grande 2 (baie James, Québec), des mesures *in situ* ont été effectuées sur les tourbières, les sous-bois de pessière et de pinède en 1979 au cours du premier été de mise en eau. Un travail similaire, mais en laboratoire a été réalisé sur les mêmes types de sols ainsi que sur des échantillons de branches de pin gris et d'épinette noire. Le traitement mathématique des données a montré que la D.O.S. n'est pas constante pour un milieu donné mais dépend de la concentration en oxygène dissous dans l'eau. Elle est de la forme  $D.O.S. = a(O_2)^b$ . Pour les conditions d'un milieu récemment inondé, le coefficient 'b' conserve des valeurs faibles quel que soit le type de sol et la température, tandis que le coefficient 'a' varie linéairement avec la température de l'eau. Pour une même concentration en oxygène dissous et une même température, les plus fortes demandes sont exercées par le sous-bois de pinède suivi du sous-bois de pessière et de la tourbière. La demande exercée par les branches d'arbres récemment noyés est de beaucoup supérieure à celle due au sous-bois où poussent ces arbres.

### Abstract

The flooding of large vegetated areas by the creation of a reservoir generates rapid changes in the water quality and particularly, important drops of dissolved oxygen. In order to evaluate the oxygen demand due to flooded soils (S.O.D.), *in situ* measurements were done on peat bog, pine and spruce undergrowth soils in 1979 during the first summer of filling of the La Grande 2 reservoir (James Bay, Québec). Similar experiments were done in the laboratory with the same types of soils and with samples of tree branches (black spruce and grey pine). The mathematical treatment of data revealed that S.O.D. is not constant but depends logarithmically on dissolved oxygen concentration:  $S.O.D. = a(O_2)^b$ . For recently flooded soils, 'b' presents low values and 'a' varies linearly with water temperature. For identical conditions of dissolved oxygen and temperature, pine soil has a greater S.O.D. than spruce soil and peat bog. The oxygen demand due to recently flooded trees is considerably higher than those of the corresponding soils.

### Introduction

Devant les inquiétantes baisses des teneurs en oxygène dissous enregistrées dans plusieurs cours d'eau ou lacs de la région des Grands Lacs, les autorités et les chercheurs américains entreprirent plusieurs études visant à connaître les causes de ce phénomène. Comme il fut rapidement établi que la demande biochimique en oxygène (D.B.O.) de l'eau ne pouvait à elle seule

expliquer les cas d'anoxie partielle maintes fois constatés, certains chercheurs se penchèrent sur le rôle des sédiments de fond et un nouveau concept se développa: la demande en oxygène des sédiments (D.O.S.). Essentiellement, les études réalisées se divisent en deux grandes catégories: en laboratoire et en nature.

Dans les études en laboratoire, la technique consiste à placer les échantillons de

sédiments dans un contenant fermé, à les recouvrir d'eau et à suivre la consommation d'oxygène. Chronologiquement les plus anciennes, ces études peuvent se résumer ainsi: 1) successivement, Streeter (1931), Fair *et al.* (1941), puis Camp (1963) arrivent à la conclusion que la consommation d'oxygène dissous résulte de la diffusion de substances consommatrices dans la colonne d'eau et non de la diffusion de l'oxygène dans la couche de fond; 2) au-delà de 4 cm, l'épaisseur des dépôts n'intervient pas dans la D.O.S. (Edwards & Rolley, 1965; Hanes & Irvine, 1966; Stein & Denison, 1966; McDonnell & Hall, 1969; McKeown *et al.*, 1968; Collins Martin & Bella, 1971); 3) la D.O.S. est fonction de la concentration en oxygène dissous et bien que les conditions opératoires ou le type de sédiments différent, il semble admis que la D.O.S. est une fonction logarithmique de la concentration en oxygène dissous (Edwards & Rolley, 1965; McDonnell & Hall, 1969; Oldaker *et al.*, 1968); 4) l'influence de la température sur la D.O.S. a été quantifiée par McDonnell & Hall (1969) de façon très simple: entre 5° et 25° C, chaque accroissement de température de 10° C double la D.O.S.; 5) enfin, quelques auteurs se sont penchés sur la contribution biologique et non biologique à la D.O.S. Collins Martin & Bella (1971), avec des sédiments d'estuaire, évaluent à 33% la D.O.S. non biologique. De leur côté, McDonnell & Hall (1969) ont trouvé que la contribution des microorganismes reste constante, même si la teneur en oxygène dissous diminue, et équivaut à 45% de la D.O.S.; par contre, la contribution de la respiration des invertébrés benthiques diminue logarithmiquement avec l'oxygène et représente dans le même laps de temps, 55% de la D.O.S. Edwards & Rolley (1965), quant à eux, trouvent que 40% de la D.O.S. est due à la respiration des invertébrés, en particulier des larves de Chironomidés.

Dans le cas des études en nature, la mesure de la D.O.S. s'effectue à l'aide d'une chambre métallique ou en plastique, à l'intérieur de laquelle se trouvent les électrodes de température et d'oxygène et que l'on descend sur le fond de façon à emprisonner le plus hermétiquement possible un certain volume d'eau ambiante au-dessus d'une surface connue de sédiments. Par la suite, durant des temps variables, on mesure les changements de la concentration en oxygène dissous et on en déduit la D.O.S. Les études rapportées dans la littérature ont été

réalisées avec des chambres de formes très différentes dont le rapport volume/surface est très variable (tableau I).

Les réservoirs créés par la construction de barrages ont fait l'objet de nombreuses études, un peu partout dans le monde. Dans la plupart des cas, il s'agit d'expériences effectuées en laboratoire visant à prédire la qualité physico-chimique de l'eau dans les réservoirs après l'inondation des sols. Parmi ces études, les plus notables ont été réalisées aux États-Unis (Sylvester & Seabloom, 1965a, b; Burdick & Parker, 1971) et en Union Soviétique (Maystrenko *et al.*, 1969; Maystrenko & Denisova, 1972). Du côté canadien, deux cas se signalent, l'un en Saskatchewan (Davis *et al.*, 1972) et l'autre au Québec (Campbell *et al.*, 1976).

Toutes ces études ont cherché principalement à établir les répercussions de la mise en eau sur les teneurs en substances dissoutes telles que les ions majeurs et les substances nutritives. Par contre, l'influence des sols noyés sur la baisse de l'oxygène dissous est beaucoup moins souvent abordée (Burdick & Parker, 1971).

### Matériel et méthodes

Trois séries d'essais ont été réalisées: une première série en nature sur les sols noyés du réservoir LG2, une deuxième également sur des sols mais en laboratoire et une troisième sur des échantillons de branches d'arbres, en laboratoire.

#### MESURES DES D.O.S. *IN SITU*

Ces essais ont eu lieu entre août et octobre 1979, lors du premier été de mise en eau

TABLEAU I

Valeurs du coefficient de forme des chambres expérimentales

Valeurs de $K^*$	Références
15,9	Blanton & Winkhofer, 1972
1,1	Lucas & Thomas, 1972
3,44	Butts, 1974
3,72	Stein & Denison, 1966
4,8	Sérodes, 1980 (essais <i>in situ</i> )
7-8,5	Sérodes, 1981 (essais en laboratoire)

\*  $K$  est le coefficient de forme intervenant dans l'expression de la D.O.S. soit  $D.O.S. = -K \frac{dO_2}{dt}$

où  $K = f\left(\frac{V}{S}\right)$ , unités)

du réservoir LG2. Durant cette période, le niveau montait progressivement et la température de l'eau a varié entre 16 °C et 7,5 °C. Tous les essais ont été effectués à des profondeurs variant entre 2 et 4 mètres, au voisinage des digues Duncan soit dans la partie sud-ouest du réservoir.

Trois types de sols ont été expérimentés : tourbière, sous-bois de pinède et sous-bois de pessière. Il s'agit des types de sols les plus représentatifs de ce territoire (Société d'Énergie de la Baie James, 1978, p. 169-178). La tourbière était une tourbière réticulée composée principalement de sphaignes et parsemée de carex. Il s'agissait d'un milieu présentant une grande homogénéité relativement aux divers emplacements des essais. Le sous-bois de pinède (pin gris) était composé d'une mince couche organique (10 cm) reposant sur du sable grossier et recouverte de lichens, en général de la cladonie. Comme la tourbière, il s'agit d'un milieu où les essais sont facilement reproductibles. Le troisième type de sol expérimenté, le sous-bois de pessière (épinette noire) était caractérisé par un épais tapis de sphaignes et comportait fréquemment des arbustes, principalement *Ledum* sp. C'est un milieu

très hétérogène où les essais même réalisés à des endroits voisins sont difficilement reproductibles; c'est également un milieu où l'installation du dispositif expérimental est souvent problématique.

Les mesures furent réalisées à l'aide d'une chambre noire en forme de pyramide tronquée déposée sur le fond et emprisonnant un volume de 100 litres d'eau au-dessus de 0,5 m<sup>2</sup> de sol (fig. 1). Cette chambre est munie d'une pompe de circulation de l'eau, opérant en circuit fermé à l'intérieur. Les mesures *in situ* de cinq paramètres : température, oxygène dissous, conductivité, pH et potentiel rédox, ont été effectuées à l'aide d'une sonde multi-électrodes Hydrolab suspendue à l'intérieur de la chambre. Cette sonde était reliée par un câble, à une console de lecture et à un enregistreur. L'électrode d'oxygène était située face au tuyau de sortie de la pompe de circulation. La console et les électrodes étaient calibrés en laboratoire au début de chaque essai sur le terrain.

#### MESURE DES D.O.S. EN LABORATOIRE

Ces mesures de demandes en oxygène ont été réalisées sur des échantillons de sols

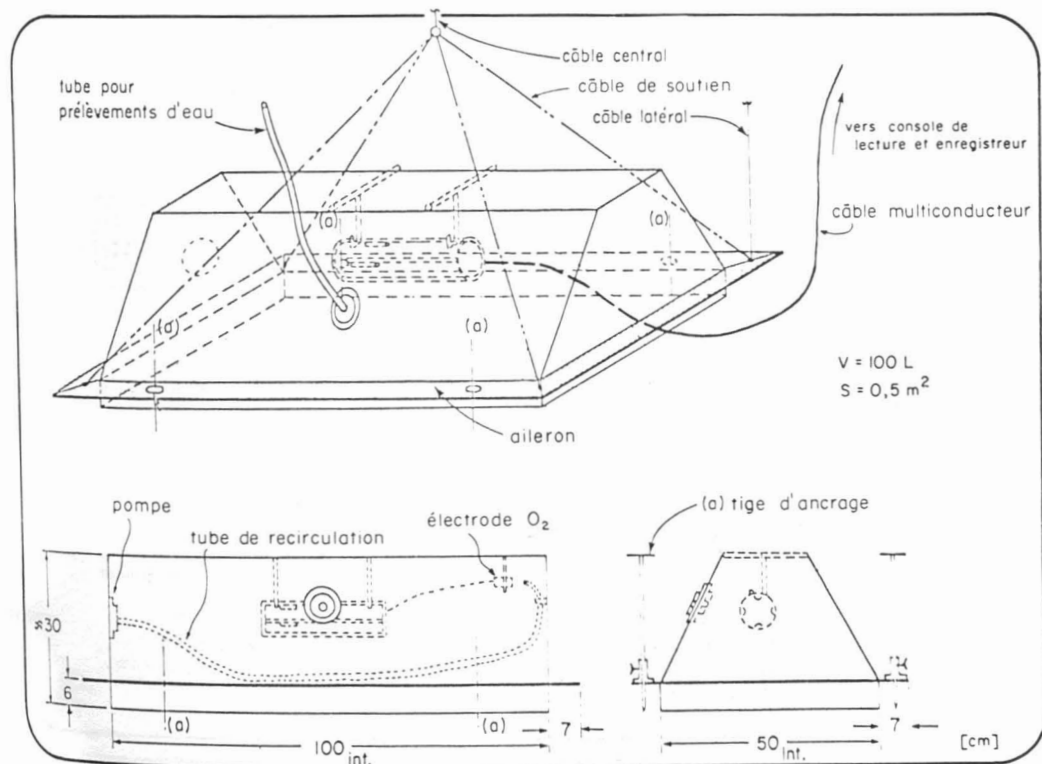


Figure 1. Chambre utilisée pour la mesure *in situ* de la demande en oxygène des sols noyés.

représentatifs des trois milieux décrits précédemment. Cependant, afin d'opérer le plus possible dans des conditions semblables aux essais *in situ*, on a procédé de la façon suivante: 1) en juin, prélèvement des échantillons en mottes de 0,144 m<sup>2</sup> dans une zone non inondée au voisinage de LG2; 2) immersion pendant 30 jours dans le réservoir LG2 au même endroit que les essais de l'été précédent; 3) récupération des échantillons puis mesures en laboratoire; 4) conservation en chambre froide à 4 °C pendant la durée des essais, soit 4 mois. Cette conservation se faisait à l'obscurité dans un état immergé.

Les chambres utilisées pour ce type de mesures différaient de la précédente expérience par leur forme rectangulaire et leur rapport volume/surface plus élevé (fig. 2). Le mode opératoire consistait à déposer les trois échantillons-types dans trois chambres, à les recouvrir avec de l'eau provenant de LG2, à les aérer pendant 2,5 jours puis à fermer hermétiquement le tout et à suivre la diminution de la concentration en oxygène dissous en fonction du temps à l'aide d'une électrode placée à l'intérieur de la chambre. Tous les essais furent réalisés à l'obscurité

dans une pièce à température contrôlée ( $\pm 1$  °C) à 2, 8, 14 et 20 °C avec un nouvel échantillon pour chaque essai. L'homogénéité de l'ensemble était assurée par des pompes de circulation placées à l'extérieur des chambres. À la fin de chaque essai, le volume d'eau mis en jeu (environ 50 litres) était mesuré afin d'établir le coefficient de forme K intervenant dans l'expression de la D.O.S. Ce coefficient se trouvait à varier légèrement — entre 7 et 8,5 — selon le volume occupé par l'échantillon de sol.

On a réalisé successivement les essais à 14, 8, 20 et 2 °C, afin de ne pas associer l'influence de la température à laquelle étaient effectués les essais avec le vieillissement des échantillons pendant les quatre mois d'entreposage.

#### DEMANDE EN OXYGÈNE DES ARBRES NOYÉS

L'expérimentation a été effectuée en laboratoire sur le pin gris et l'épinette noire, principaux arbres qu'on trouve dans le réservoir LG2.

À cette fin, des extrémités de branches d'arbres furent prélevées dans le réservoir lui-même en octobre 1979, soit après un été

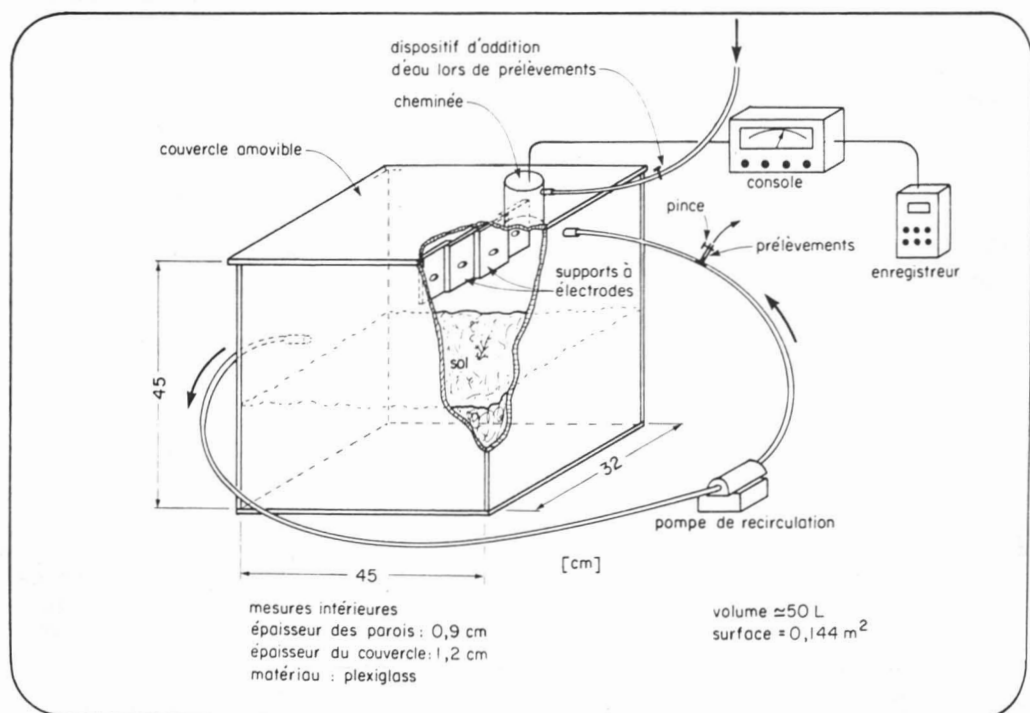


Figure 2. Chambre utilisée pour la mesure en laboratoire de la demande en oxygène des échantillons de sol.

d'inondation. Elles furent conservées humides en chambre froide à 4 °C et à l'obscurité ainsi que l'eau provenant du réservoir.

Lors de chaque essai, on plaçait une quantité de branches d'approximativement 100 g humide dans un récipient cylindrique d'une capacité de 8,35 litres. À l'intérieur était installée une électrode à oxygène tandis que l'eau était continuellement recirculée à l'aide d'une petite pompe (fig. 3). Ce dispositif était placé à l'obscurité dans un bain avec thermostat. Avant le début de chaque essai, l'eau était amenée à saturation d'oxygène à l'aide du diffuseur d'air placé au fond du récipient. À la fin des essais, les végétaux utilisés étaient séchés à l'air à 30 °C jusqu'à un poids constant et pesés. Des essais à 20 °C, 10 °C et 4 °C furent réalisés.

## Résultats

### DEMANDE EN OXYGÈNE DES SOLS NOYÉS

En pratique, on mesure la diminution de la teneur en oxygène dissous en fonction du temps. En fait, cette consommation est occasionnée à la fois par la demande des matériaux de fond et par la matière organique contenue dans le volume d'eau qu'emprisonne la chambre. Afin d'évaluer la part incombant à l'eau elle-même, un test classique de DBO<sub>5</sub> a été effectué pour chaque essai

sur un échantillon d'eau prélevé dès le début de l'expérience. Les résultats obtenus ont varié entre 1,5 et 7 mg/l. Si on compare ces chiffres avec les D.O.S. mesurées, on constate que la DBO de l'eau ne représente qu'entre 3 et 10% de la demande totale. Nous avons donc dans tout ce qui suit négligé cette contribution.

Comme l'ont montré plusieurs études antérieures, la D.O.S. peut être subdivisée en une demande d'origine biologique et une demande d'origine chimique; la demande biologique peut elle-même être attribuée à la consommation par les microorganismes (bactéries, champignons) et à la respiration des invertébrés benthiques. Au cours de ces travaux, seule la D.O.S. totale a été mesurée. En règle générale, la diminution de l'oxygène dissous en fonction du temps se caractérise par une assez forte baisse dans les premières minutes de l'expérimentation suivie d'une période où la consommation est presque linéaire pour se terminer par une plus faible demande lorsque le milieu tend à devenir anoxique (fig. 4a).

Afin d'établir l'équation représentant le mieux le phénomène, diverses expressions mathématiques simples ont été testées. Une seule a donné d'excellents résultats, à savoir :

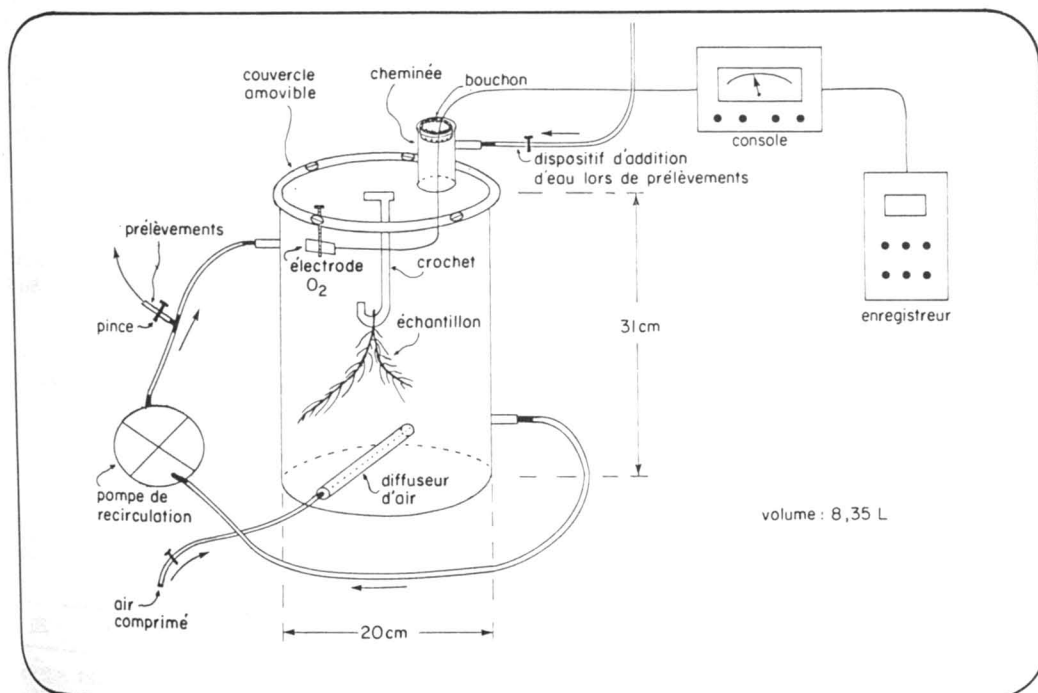


Figure 3. Chambre utilisée pour la mesure de la demande en oxygène des échantillons d'arbres.



$$t = C - A(O_2)^B$$

où A, B, C sont des constantes. Si on dérive cette équation, on obtient :

$$dt = -AB(O_2)^{B-1} dO_2$$

Or, nous savons que :

$$D.O.S. = -K \frac{dO_2}{dt}$$

où K est un facteur qui incorpore le rapport volume/surface et les unités choisies.

En réarrangeant les équations précédentes, on arrive à l'équation finale :

$$D.O.S. = \frac{K}{AB} (O_2)^{1-B}$$

ou encore

$$D.O.S. = a(O_2)^b$$

La D.O.S. s'exprime en grammes d'oxygène dissous par mètre carré de sol et par jour ( $g O_2/m^2/d$ ).

Le traitement mathématique a tout d'abord été appliqué aux essais réalisés en laboratoire. Dans le tableau II sont rapportées les expressions 'a' ( $(O_2)^b$ ).

Le coefficient 'b' exprime la dépendance de la D.O.S. vis-à-vis de la concentration en oxygène dissous soit la dépendance de la respiration des microorganismes et autres organismes benthiques aérobies. Selon McDonnell & Hall (1969), la contribution microbienne reste constante tandis que la contribution des invertébrés benthiques diminue logarithmiquement avec l'oxygène dissous. C'est donc l'ensemble de ces deux demandes qui impose globalement la forme logarithmique  $D.O.S. = a(O_2)^b$ . Ces deux auteurs rapportent des valeurs de 'b' variant de 0 à 0,64 avec une moyenne de 0,30 et notent que 'b' a tendance à augmenter quand le nombre d'invertébrés augmente.

Dans le cas des échantillons utilisés, étant donné leur origine terrestre et le condi-

tionnement qu'ils ont subi pendant un mois d'immersion, il faut s'attendre à ce que le nombre d'organismes benthiques soit plutôt réduit et se traduise par des valeurs de coefficient 'b' faibles puisque les D.O.S. mesurées seront surtout d'origine microbienne. Il en est de même pour les essais effectués en nature sur le réservoir LG2 puisqu'ils ont été réalisés dans des endroits inondés seulement depuis quelques semaines. Effectivement, en consultant le tableau II on constate que malgré des types de sols et des températures très différents, le coefficient 'b' reste faible. En fait, le traitement mathématique permet d'établir les coefficients de la fonction simple qui correspond le mieux aux valeurs expérimentales. De par l'expression même de la fonction proposée, il est possible de modifier un des deux coefficients 'a' ou 'b' et de compenser sur l'autre sans que la nouvelle fonction s'écarte beaucoup des points expérimentaux. Pour illustrer ceci, on a choisi le cas extrême (pessière à 8°C) où 'b' = 0,53 et on a recalculé le coefficient 'a' en prenant 'b' = 0,14 qui est la valeur obtenue en faisant la moyenne des douze valeurs apparaissant au tableau II après avoir exclu les deux valeurs extrêmes (fig. 4b). Pour des valeurs en  $O_2$  supérieures à 2 mg/l, les différences entre la fonction originale et la fonction recalculée restent acceptables même s'il s'agit d'un cas extrême. La deuxième raison qui motive l'imposition d'une valeur constante pour 'b' est que ceci facilite l'étude de l'influence de la température de l'eau sur la fonction puisque l'étude se limite à l'influence sur le coefficient 'a'.

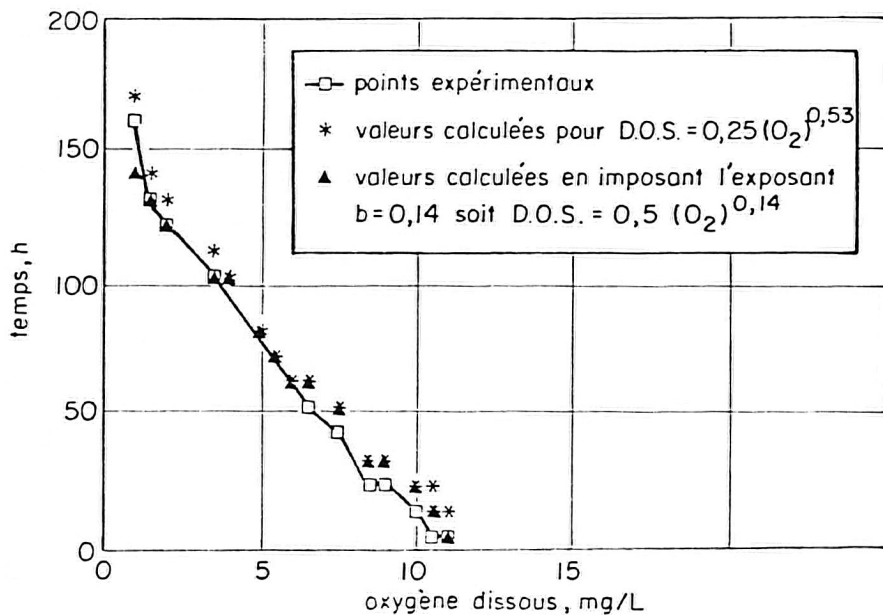
Donc après avoir imposé 'b', le traitement mathématique a été repris afin de calculer les nouvelles valeurs de 'a' aussi bien pour les essais en laboratoire que pour les essais en nature (tableau III).

Le coefficient 'a' qui représente la demande intrinsèque du substrat est très in-

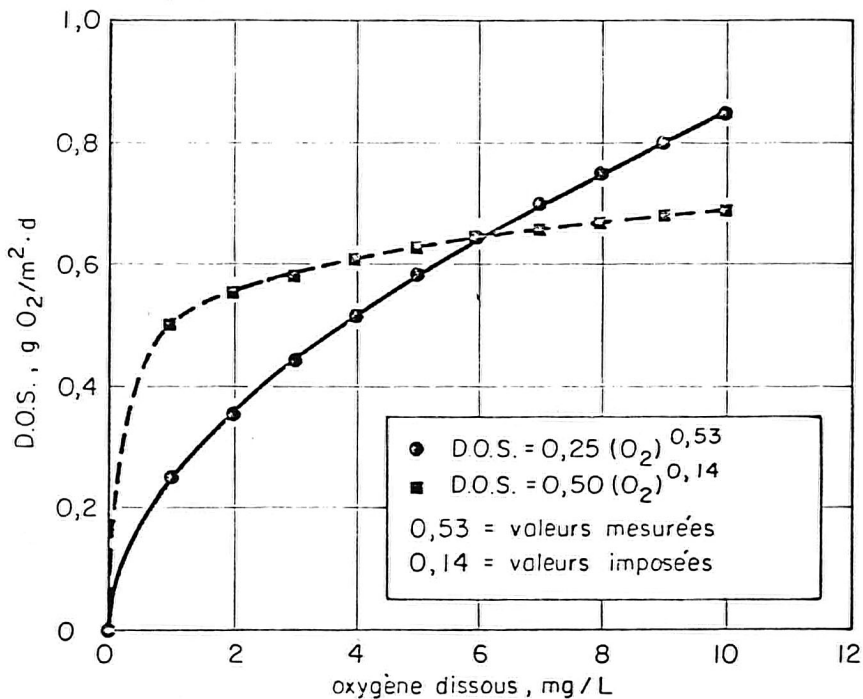
TABLEAU II

Valeurs des coefficients 'a' et 'b' dans l'expression  $D.O.S. = a(O_2)^b$  pour les divers essais en laboratoire

Milieu	Pessière				Tourbière				Pinède			
	Température (°C)	2	8	14	21	2	8	14	21	1	4	12
'a'	0,47	0,25	2,71	1,85	0,23	0,63	1,43	1,54	0,27	0,25	2,21	2,65
'b'	0,14	0,53	0,24	0,09	0,20	0,09	0,08	0,20	0,37	0,12	0,16	0,10



a) Variation de la concentration en oxygène dissous en fonction du temps.



b) Différence dans l'expression  $D.O.S. = a(O_2)^b$  selon le coefficient  $b$ .

Figure 4. Influence du coefficient 'b' dans l'expression mathématique de la D.O.S., cas de la pessièrè à 8°C. a) Variation de la concentration en oxygène dissous en fonction du temps. b) Différence dans l'expression  $D.O.S. = a(O_2)^b$  selon le coefficient 'b'.

TABLEAU III  
Valeur du coefficient 'a' dans l'expression  
 $D.O.S. = a(O_2)^{0,14}$

Milieu	Température (°C)	'a'
Pessière	2	0,47
	8	0,50
	13,5*	1,38
	14	1,37
	21	1,77
Tourbière	2	0,25
	8	0,57
	8,5*	0,97
	13*	1,38
	14	1,28
	16*	1,70
	21	1,66
Pinède	1	0,41
	4	0,24
	7,5*	1,46
	12	2,26
	13*	2,28
	13,5*	2,61
	20	2,48

\* Essais *in situ* sur le réservoir LG 2.

fluencé par la température de l'eau. A la figure 5, on constate qu'il semble exister une relation linéaire entre 'a' et la température du moins entre 0 et 21 °C. La pessière et la tourbière, toutes deux composées principalement de sphaignes, présentent la même pente, mais la pessière exerce des D.O.S. un peu plus fortes. La pinède est le milieu qui donne les plus fortes demandes. Remarquons enfin que les valeurs mesurées *in situ* sont plus fortes que celles mesurées en laboratoire et qu'il subsiste une D.O.S. résiduelle à 0 °C (du moins mathématiquement). Les droites de régression ont été établies à partir des mesures en laboratoire seulement.

En résumé, la D.O.S. exercée par les trois types de sols les plus représentatifs du réservoir LG2 s'exprime par :

Pessière :  $D.O.S. = (0,18 + 0,08T) (O_2)^{0,14}$

Tourbière :  $D.O.S. = (0,06 + 0,08T) (O_2)^{0,14}$

Pinède :  $D.O.S. = (0,15 + 0,13T) (O_2)^{0,14}$

avec D.O.S. en  $g O_2/m^2/d$ ; T en °C et  $(O_2)$  en mg/l.

La représentation graphique de ces trois expressions apparaît à la figure 6 pour une température de l'eau de 14 °C.

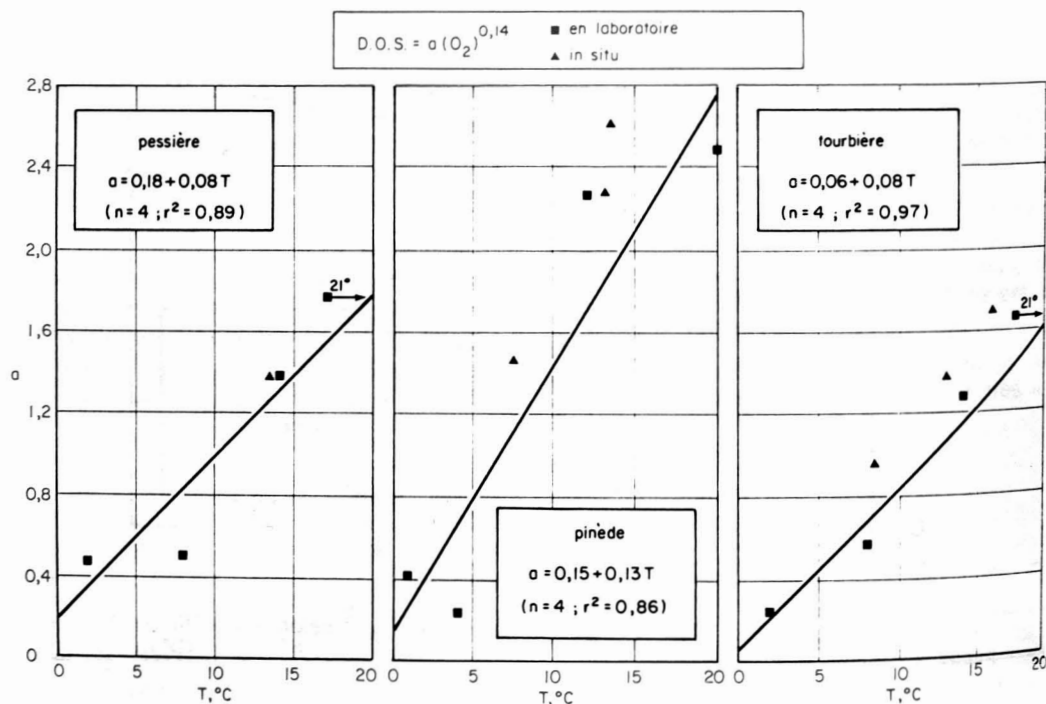


Figure 5. Variation du coefficient 'a' de la D.O.S. selon la température de l'eau.

## DEMANDE EN OXYGÈNE DES ARBRES NOYÉS

Les données sur la demande en oxygène des arbres (D.O.A.) et végétaux supérieurs sont assez rares. Sylvester & Seabloom (1965a,b) ont fait de telles mesures avec des écorces, des feuilles et des herbes et ont trouvé des demandes variant entre 1,6 et 13 g O<sub>2</sub>/kg matériel/jour. Ils constatent que la végétation herbacée et les feuilles sont de plus gros consommateurs d'oxygène que l'écorce d'arbres, mais ne fournissent aucune donnée sur les aiguilles de résineux.

Le même traitement mathématique que pour les sols noyés a été appliqué aux résultats des essais sur les arbres noyés. Dans ce cas également, la relation  $t = C - A(O_2)^B$  s'est avérée excellente (tableau IV).

Le coefficient 'b' marquant la dépendance vis-à-vis la concentration en oxygène dissous est plus variable et généralement plus élevé que dans le cas des sols. Il semble se dégager une baisse de cette dépendance avec la

diminution de la température bien que l'essai à 20 °C sur le pin gris ne concorde pas avec cette constatation. En règle générale, les demandes exercées par ces deux arbres sont très voisines. Dans ce cas aussi, il serait possible d'imposer à 'b' une valeur fixe moyenne et de recalculer 'a' sans que les nouvelles valeurs des D.O.A. diffèrent beaucoup des précédentes.

Il est intéressant de comparer les demandes en oxygène exercées par les arbres et les sols sur lesquels ils poussent; ces demandes étant fonction de la concentration en oxygène, les calculs ont été effectués pour une teneur en O<sub>2</sub> de 8 mg/l (tableau V). Étant donné que les demandes exercées par 1 kg sec de branches d'épinette noire ou de pin gris sont supérieures ou égales à celles exercées par 1 m<sup>2</sup> de sol correspondant, on peut conclure que la consommation d'oxygène dissous par un arbre noyé est considérablement plus élevée que celle due au sous-bois au-dessus duquel il pousse.

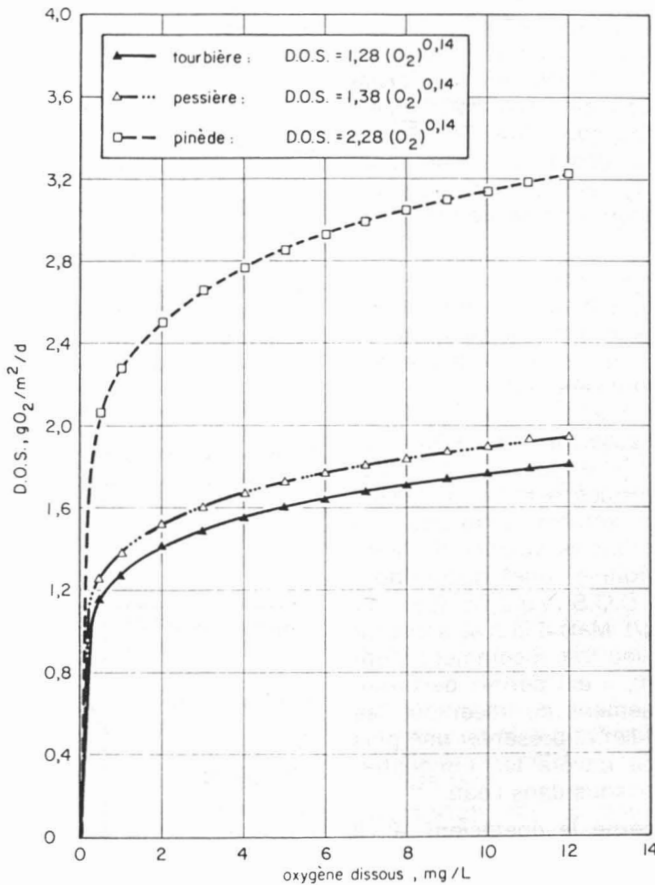


Figure 6. Variations de la D.O.S. selon la teneur en oxygène dissous, à 14°C.

TABLEAU IV

Demande en oxygène des arbres noyés selon la température de l'eau

Température (°C)	Pin gris (g O <sub>2</sub> /kg/d)	Épinette noire (g O <sub>2</sub> /kg/d)
20	2.06 (O <sub>2</sub> ) <sup>0.27</sup>	0.57 (O <sub>2</sub> ) <sup>0.81</sup>
10	0.48 (O <sub>2</sub> ) <sup>0.69</sup>	0.75 (O <sub>2</sub> ) <sup>0.50</sup>
4	0.58 (O <sub>2</sub> ) <sup>0.47</sup>	1.17 (O <sub>2</sub> ) <sup>0.26</sup>

### Discussion et conclusion

À la fois par des essais en nature et en laboratoire sur des échantillons récemment inondés, il est apparu que les demandes en oxygène sont une fonction logarithmique de la concentration en oxygène dissous, du type  $a(O_2)^b$ .

La D.O.S. se compose d'une demande d'origine chimique, d'une demande d'origine microbiologique et d'une demande provenant de la respiration de la faune benthique. Étant donné que la demande d'origine microbiologique est considérée comme peu dépendante de la teneur en oxygène dissous du moins jusqu'à des concentrations de l'ordre de 1 à 2 mg/l (McDonnell & Hall, 1969), c'est donc la demande des invertébrés benthiques qui impose principalement la forme logarithmique puisque la demande chimique est considérée comme variant linéairement avec (O<sub>2</sub>).

Donc l'importance de la faune benthique influence directement 'b', qui va tendre d'autant plus vers 1 que le nombre d'invertébrés est élevé. Dans le cas des échantillons sur lesquels les essais ont été effectués, le temps d'inondation ayant été très court (quelques semaines pour les essais *in situ* et 30 jours pour les essais en laboratoire) la colonisation par des organismes benthiques y était très réduite, ce qui semble l'explication la plus plausible aux faibles valeurs trouvées pour 'b'. Ceci signifie une quasi non-dépendance de la D.O.S. vis-à-vis (O<sub>2</sub>), du moins jusqu'à 1 mg/l. Mais il faut se souvenir qu'il s'agit d'un milieu très récemment inondé; par conséquent, il est permis de croire qu'avec le vieillissement du réservoir, les D.O.S. vont se modifier et présenter une plus grande dépendance envers les concentrations en oxygène dissous dans l'eau.

En ce qui concerne le coefficient 'a', il reflète la demande intrinsèque du substrat et est directement influencé par la température de l'eau. Il est apparu qu'entre 0 et 21 °C,

ce coefficient variait linéairement avec la température, ce qui diffère de la forme logarithmique ( $a = a_{20} \alpha^{T-20}$ ) généralement acceptée (Fair *et al.*, 1941). De leur côté, Burdick & Parker (1971) proposent la formule D.O.S. = 0.017 T<sup>1.49</sup> (O<sub>2</sub>)<sup>0.52</sup> qui donne des résultats voisins de ceux obtenus au cours de ces travaux sur les sols de LG2.

Les mesures de demande en oxygène effectuées sur des échantillons de branches d'épinette noire et de pin gris ont également présenté une dépendance logarithmique vis-à-vis l'oxygène dissous mais avec un coefficient 'b' plus élevé que dans le cas des sols. En règle générale, pour une même température de l'eau, la demande exercée par un arbre est considérablement plus élevée que celle exercée par son sous-bois. Il faut cependant noter que la demande est essentiellement due aux aiguilles; ces dernières se détachant des arbres inondés après quelques temps, ces résultats ne sont valables que pour la première année d'inondation. Par la suite, la demande exercée par les feuilles se transfère au sol par décantation de ces dernières. La demande due au bois et à l'écorce n'a pas été évaluée.

En résumé, cette étude a permis d'évaluer la demande en oxygène des principaux sols et arbres noyés lors de la création du réservoir LG2 et d'établir l'influence de la température de l'eau. Ces demandes sont particulièrement fortes dans les régions boisées et plus élevées dans les pinèdes que dans les pessières et les tourbières. Ces données sont valables pour les premiers temps de l'existence d'un réservoir car il est à prévoir que les demandes se modifient

TABLEAU V

Demande en oxygène des sols et arbres noyés du réservoir LG2 à différentes températures (O<sub>2</sub>) = 8 mg/l

	4 °C	10 °C	20 °C	
1 m <sup>2</sup> pessière	0.7	1.3	3.2	} g O <sub>2</sub> /d
1 kg sec épinette	2.0	2.1	3.1	
1 m <sup>2</sup> pinède	0.9	2.0	3.7	
1 kg sec pin gris	1.5	2.0	3.6	

avec le vieillissement de celui-ci sans qu'il soit cependant possible d'en prédire à long terme l'évolution.

### Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au support financier de la Direction Environnement de la Société d'Énergie de la Baie James et à une subvention du C.R.S.N.G. Nous remercions messieurs Lalonde, Okoko et Lemire pour leur collaboration durant les travaux et G. Moreau pour ses commentaires sur le manuscrit.

### Références

- BLANTON, J.O. & A.R. WINKLHOFER, 1972. Physical processes affecting the hypolimnion of the central basin of Lake Erie. Chap. 3. — Pages 9-38 in N.M. Burns & C. Ross (eds.). Project Hypo. Canada Centre for Inland Waters, Paper no. 6; U.S. Environmental Protection Agency, Tech. Rep., no. TS-05-71-208-24, 182 p.
- BURDICK, J.C. & F.L. PARKER, 1971. Estimation of water quality in a new reservoir. — Dept. Environmental and Water Resources Engineering, Sch. Engineering, Vanderbilt Univ. and U.S. Army Corps of Engineers, Rep. no. 8, 500 p.
- BUTTS, T.A., 1974. Measurements of sediment oxygen demand characteristics of the Upper Illinois Waterway. — Illinois St. Wat. Surv., Rep. no. 76-ISWS-74-R176, 32 p.
- CAMP, T.R., 1963. Water and its impurities. — Reinhold Co. Publishing, N.Y., 355 p.
- CAMPBELL, P.G., B. BOBEE, A. CAILLÉ, M.J. DEMALSY, P. DEMALSY, J.L. SASSEVILLE, S.A. VISSER, P. COUTURE, M. LACHANCE, R. LAPOINTE & L. TALBOT, 1976. Effets du décapage de la cuvette d'un réservoir sur la qualité de l'eau emmagasinée: élaboration d'une méthode d'étude et application au réservoir de Victoriaville (rivière Bulstrode, Québec). — INRS-Eau, Rapp. sci., n° 37, 304 p.
- COLLINS MARTIN, D. & D.A. BELLA, 1971. Effect of mixing on oxygen uptake rate of estuarine bottom deposits. — J. Wat. Pollut. Control Fed., 43: 1865-1876.
- DAVIS, E., R.D. SMITH & G. GOOS, 1972. Predicting reservoir water changes: a laboratory investigation. — Conférence présentée au «Symposium on Lakes of Western Canada». Edmonton, 16-17 novembre 1972.
- EDWARDS, R.W. & H.L.J. ROLLEY, 1965. Oxygen consumption of river muds. — J. Ecol., 53: 1-19.
- FAIR, G.M., E.W. MOORE & H.A. THOMAS Jr., 1941. The natural purification of river muds and pollutional sediments. — Sewage Wks J., 13: 756-778.
- HANES, N.B. & R.L. IRVINE, 1966. Oxygen uptake rates of benthic systems by a new technique. — Pages 468-479 in Proceedings 21st Industrial Waste Conference, Purdue University, Part 1. Engineering Extension Series no. 121, vol. L, no. 2, Lafayette, Indiana.
- LUCAS, A.M. & N.A. THOMAS, 1972. Sediment oxygen demand in Lake Erie's central basin. Chap. 5. — Pages 45-50 in N.M. Burns & C. Ross (eds.). Project Hypo. Canada Centre for Inland Waters, Paper no. 6; U.S. Environmental Protection Agency, Tech. Rep., no. TS-05-71-208-24, 182 p.
- MAYSTRENKO, Y.G. & A.I. DENISOVA, 1972. Method of forecasting the content of organic and biogenic substances in the water of existing and planned reservoirs. — Soviet Hydrol., Selected Papers, 6: 515-540.
- MAYSTRENKO, Y.G., A.I. DENISOVA, V.M. BAGNYUK & Z.M. ARYAMOVA, 1969. The role of higher aquatic plants in the accumulation of organic and biogenic substances in water bodies. — Hydrobiol. J., 5: 21-31.
- MCDONNELL, A.J. & S.D. HALL, 1969. Effect of environmental factors on benthic oxygen uptake. — J. Wat. Pollut. Control Fed., Res. Suppl., 41: R353-R363.
- McKEON, J.J., A.H. BENEDICT & G.M. LOCKE, 1968. Studies on the behavior of benthic deposits of wood origin. — J. Wat. Pollut. Control Fed., 40: R333-R341.
- OLDAKER, W.H., A.A. BURGUM & H.R. PAHREN, 1968. Pilot-plant studies of benthic oxygen demand of river bottom sediments. — J. Wat. Pollut. Control Fed., 40: 1688-1701.
- SOCIÉTÉ D'ÉNERGIE DE LA BAIE JAMES, 1978. Connaissance du milieu des territoires de la baie James et du Nouveau-Québec. — Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 294 p.
- SÉRODES, J.B., 1980. Influence des sols et arbres noyés sur l'oxygène dissous et la qualité de l'eau du réservoir LG2. — Rapport n° CRE-80/07 à la Société d'Énergie de la Baie James, 95 p.
- SÉRODES, J.B., 1981. Influence des sols et arbres noyés sur l'oxygène dissous et la qualité de l'eau du réservoir LG2. — Rapport-système n° CRE-81/04 à la Société d'Énergie de la Baie James, 148 p.
- STEIN, J.E. & J.G. DENISON, 1966. *In situ* benthic oxygen demand of cellulosic fibers. — Adv. in Water Poll. Res., 3: 181-190.
- STREETER, U.W., 1931. Effects of sewage discharge on streams. — Sew. Works J., 3: 713.
- SYLVESTER, R.O. & R.W. SEABLOOM, 1965a. Influence of site characteristics on quality of impounded water. — J. Am. Wat. Wks Ass., 57: 1528-1546.
- SYLVESTER, R.O. & R.W. SEABLOOM, 1965b. Quality of impounded water as influenced by site preparation. — Univ. Washington, Coll. Engineering, Dept. Civil Engineering, Tech. Rep., 65 p.



## SIMULATION MODEL OF PLANKTON DYNAMICS IN RESERVOIRS OF THE LA GRANDE RIVER COMPLEX

N. THÉRIEN, K. MORRISON,  
M. DE BROISSIA, and B. MARCOS

Département de génie chimique, Université de Sherbrooke,  
Sherbrooke, Québec J1K 2R1

### Résumé

L'auteur décrit un modèle de la dynamique d'une population de plancton dans un environnement nordique. La faible densité du plancton amène des modifications au terme habituel utilisé pour le broutage par le zooplancton. Ce modèle est valable pour les lacs de la région de La Grande (Québec), mais ne convient pas au réservoir Desaulniers, pourtant dans la même région. On discute les écarts entre les prédictions et les observations, ainsi que la possibilité d'une application du modèle au réservoir LG2, après analyse des données pertinentes. On ne prévoit pas de problèmes hydrodynamiques comme ceux du réservoir Desaulniers, réservoir d'ailleurs fort peu typique.

### Abstract

A model for plankton dynamics in northern waters is presented. Due to low plankton densities, the term for zooplankton grazing differs from formulations used by other authors. The model gives reasonable results for lakes in the La Grande region of Québec, but is not very accurate for the Desaulniers reservoir in the same region. Reasons for the discrepancies between model results and observations are discussed, as are future plans for applying the model to the LG2 reservoir once the appropriate data have been analyzed. The LG2 reservoir should not present the hydrodynamic problems that were encountered with the Desaulniers reservoir, which is not typical of reservoirs in general.

### Introduction

The application of systems analysis and simulation to aquatic ecological systems has undergone a great deal of growth in the last decade as can be seen by the number of papers reviewed by Fox *et al.* (1979), although much work had been done earlier (Patten, 1968). One of the areas where much effort has been concentrated is the plankton. This is understandable since phytoplankton are the major primary producers in many aquatic ecosystems, and the zooplankton are the first level of secondary producers (Wetzel, 1975). Almost all of the work on plankton has been done for water bodies in temperate zones, and quite often the waters are eutrophic. Thus there is a paucity of information on plankton modelling for subarctic regions where a large portion of the water bodies are oligotrophic.

Modelling can be an extremely useful tool in impact analysis. Rather than replacing

detailed biological studies, modelling is a complementary activity. It provides a method for integrating information on a number of important variables. The models can help in hypotheses formulation and testing, and can be used to compare qualitatively different alternatives.

With the hydroelectric development that is taking place on the La Grande River in the James Bay region of Québec, reservoir flooding is altering aquatic ecosystems significantly. Ecological monitoring by the Société d'Énergie de la Baie James (S.E.B.J.) has shown some of the changes that have occurred (Boucher *et al.*, 1978). Our interests are to assist in predicting the extent of changes that will occur to the aquatic ecosystems in the long run.

In this paper we discuss our progress to date with the development of a model for the dynamics of plankton biomass in the reservoirs. In an earlier work (Thérien *et al.*, 1981),



early results of work done on the Desaulniers reservoir were reported. At that time only one year of data was used. In this paper, a second year of results is presented, along with three years of data from stations within the LG2 reservoir. A modification to the equation of zooplankton grazing is presented. Shortcomings of the model structure and of the input data are also discussed, as are future directions for data analysis and model development.

### Study sites

The physical and chemical conditions to which the plankton are subjected in the James Bay region differ markedly from those found further south (Magnin, 1977). Water temperatures are lower and the growing season is significantly shorter. The water is stained to varying degrees mostly from humic acids, and nutrients are found in very low concentrations.

Data from four stations are examined (Fig. 1). Three of these stations are located in what used to be lakes prior to the im-

poundment of the LG2 reservoir in the fall of 1978. These lakes are now flooded over. The fourth station, G2-129, is located in the small Desaulniers reservoir, which prior to impoundment, was the Desaulniers river. The Desaulniers reservoir was impounded in the late spring of 1977.

The levels of dissolved nutrients are very low at all four stations, and are frequently below the detection limits. Dissolved oxygen can be quite low at station G2-129 in the summer (frequently below 10% saturation), while at the other stations oxygen is always greater than 60% saturation and usually above 80% in the summer. Over winter, the same trends continue.

The Desaulniers reservoir undergoes very drastic hydraulic fluctuations. Natural inflows vary seasonally. Water is pumped on an irregular basis from this reservoir into the LG2 reservoir. Mostly because the pumping is irregular, the retention time can vary from 12 to 125 days.

For more information on the stations, the reader is referred to Bachand (1979).

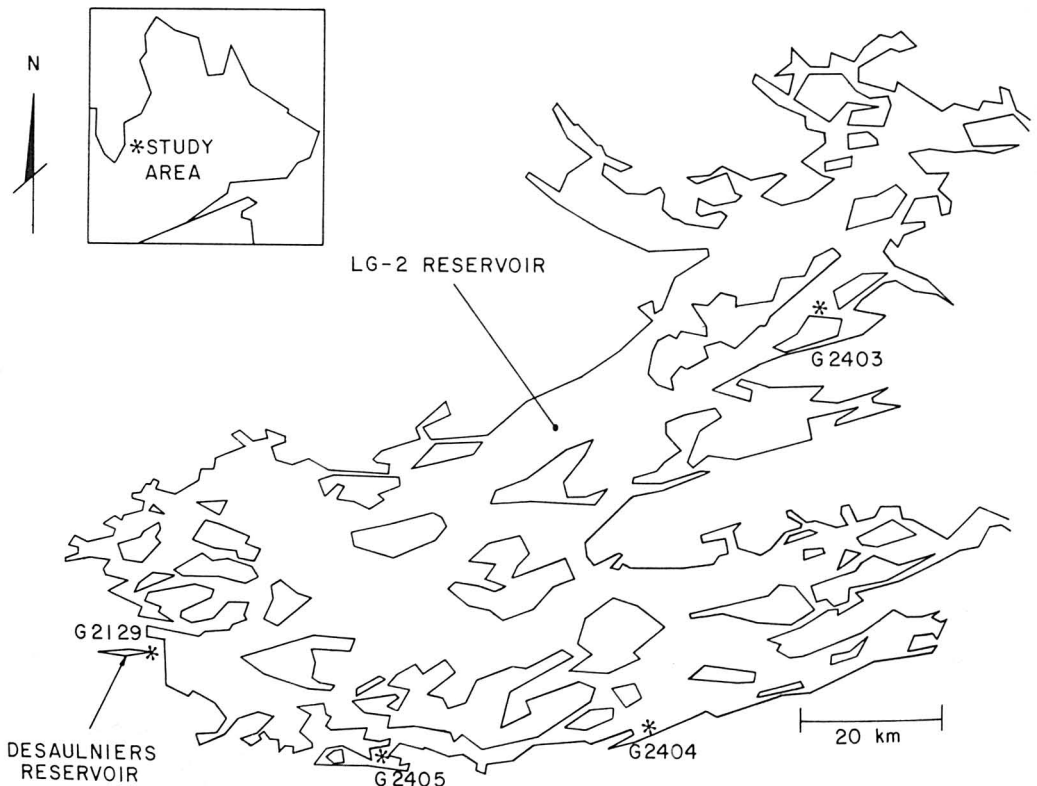


Figure 1. Stylized map showing study area and sampling stations.

## Materials and methods

Of the two sampling programmes used in this study, the first was under the auspices of the Réseau de surveillance écologique (R.S.É.), the ongoing ecological monitoring of the LG2 reservoir before and after impoundment, and included the stations G2-403, G2-404 and G2-405. The other was an intensive examination of the conditions in the Desaulniers reservoir prior to and following impoundment. All sampling was carried out by personnel of the Société d'Énergie de la Baie James.

### SAMPLING METHODS

Between the two sampling regimes there are some differences in the way sampling was undertaken. How this may have influenced results is discussed later in the paper.

#### Phytoplankton

At station G2-129, samples were taken at 1 and 6 m using 6-litre Van Dorn samplers. These samples were supplemented with 6-litre integrated samples from 6 m to the surface. At stations G2-403, G2-404 and G2-405, only integrated samples were taken. The samples had volumes of 6-10 litres, and were taken from the bottom of the euphotic zone (light attenuation of 98%) to the surface. In both cases, the samples were thoroughly mixed and subsamples were withdrawn for enumeration. The frequency of sampling was every two weeks during the ice-free period, and monthly during winter.

#### Zooplankton

At station G2-129, replicate samples were taken at 2 m intervals using a 30-litre Patalas trap. The samples were filtered through a 50  $\mu\text{m}$  mesh, and the remaining organisms were identified to species and counted. Sampling was done weekly in the summer of 1977, and every two weeks in the summer of 1978. At stations G2-403, G2-404 and G2-405, samples were taken using a Clarke-Bumpus apparatus with a 50  $\mu\text{m}$  net. The samples were taken from the lake bottoms to the surface at an oblique angle in 1977 and 1978, and from a depth of 25 m to the surface in 1979. The total volumes filtered were from 300 to 1200 litres. The captured individuals were identified to species and counted. Sampling was done every two weeks during the ice-free periods.

#### Temperature and oxygen

At all four stations, temperature and oxygen measurements were made simultaneously using a Hydrolab™. Measurements were made at 1 m intervals throughout the water column. Samples were taken every two weeks during the summer and once a month in winter.

#### Fish

At all four stations, gill nets were used to capture fish. The nets were in place for from 1 to 3 days per sampling effort, and up to ten samples were taken per station per summer. On each date, several nets were set with mesh sizes from 2.5 to 10.2 cm to sample different sizes of fish. However, the nets were too large to capture the smaller fish species. The captured fish were identified and weighed.

### DATA MANIPULATION

Plankton species data were reported as numbers of individuals per species (or family) per unit volume. For the most part, these estimates were transformed into biomass per unit volume by using mean individual dry weights for the species or families. The mean individual dry weights were taken from the literature (Pinel-Alloul & Méthot, 1979; Jorgensen *et al.*, 1979). The exception to this procedure was the zooplankton estimates for the R.S.É. stations in 1977, since identification was not done to the species level. These values were estimated from seston samples using regression equations established by Pinel-Alloul & Méthot (1979).

Fish data were reported as biomass captured per species per net per sampling date. Since the length of time that nets were in place varied, the values were standardized to total weight captured/hour/100  $\text{m}^2$  of net. Zooplankton have been found in significant quantities in the stomachs of all of the species captured in the gill nets (Dufort & Méthot, 1974).

## Model structure

A simplified view of the model structure is presented in Figure 2. Three compartments are included in the model; phytoplankton, zooplankton and fish. Only the first two compartments are modelled, while observed data for the fish compartment are fed in.

Phytoplankton biomass increases due to photosynthesis, but biomass is lost through

respiration, sedimentation (mortality), and grazing by herbivorous zooplankton. Zooplankton biomass increases due to the assimilation of grazed phytoplankton, but biomass is lost through respiration, mortality, and predation by fish.

Not all possible biological processes are included in the model. For instance, grazing by nekton on phytoplankton has been excluded for two reasons. First of all, there is unfortunately a lack of data on possible grazers such as cyprinids and the young of cisco (*Coregonus artedii*) and suckers (*Catostomus catostomus*, *C. commersoni*). Secondly, the relative magnitude of such grazing is most likely small compared to losses of phytoplankton through sedimentation and grazing by zooplankton. Likewise, the predation by macroinvertebrates on zooplankton has not been included, a process known to be important in some locations (Sprules, 1972; Wetzel, 1975). In studies done in the region over many years (Ba-

chand, 1979; Boudreault, 1981; Cloutier & Dufort, 1980), species such as *Chaoborus* have been extremely rare. While realizing that this absence may be due to the sampling techniques employed, we cannot at this time incorporate a compartment for which we have no data.

Aside from biological processes, the two plankton compartments can be affected by convective processes. For instance, a significant inflow of water containing little plankton would have a diluting effect on the concentrations. Also, because of the vertical distributions of plankton, the level at which water is withdrawn from the water body can cause increases or decreases in the global plankton densities, depending on whether the withdrawn water has plankton densities above, equal to, or below the average densities.

The model is comprised of two differential equations, one each for phytoplankton and zooplankton. The equations are:

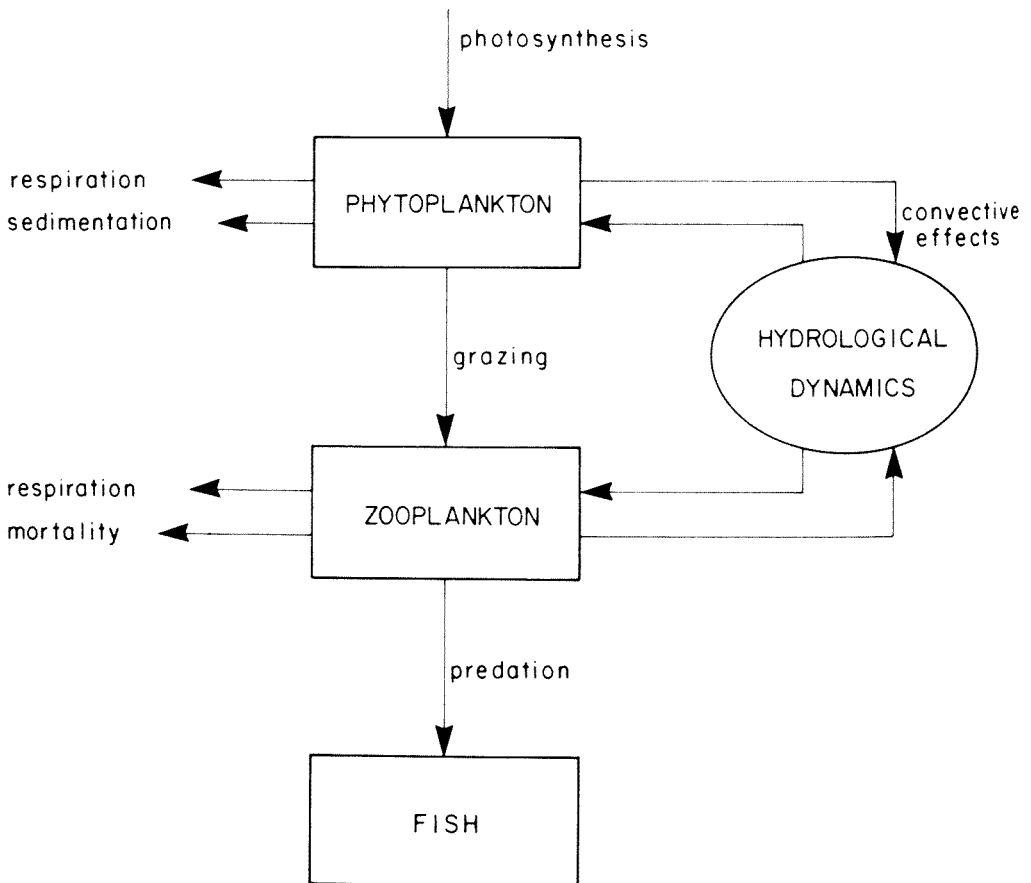


Figure 2. Diagram of model structure.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{V} \underbrace{(Q_i \cdot P_i - Q_o \cdot P \cdot CPUMP_p)}_{\text{HYDRAULIC PROCESSES}} - \frac{P}{V} \cdot \frac{dV}{dt} + \underbrace{G_p - R_p - M_p - PR_p}_{\text{BIOLOGICAL PROCESSES}} \quad (1)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{1}{V} \underbrace{(Q_i \cdot Z_i - Q_o \cdot Z \cdot CPUMP_z)}_{\text{HYDRAULIC PROCESSES}} - \frac{Z}{V} \cdot \frac{dV}{dt} + \underbrace{G_z - R_z - M_z - PR_z}_{\text{BIOLOGICAL PROCESSES}} \quad (2)$$

where P is the phytoplankton biomass density (mg · l<sup>-1</sup>); Z, zooplankton biomass density (mg · l<sup>-1</sup>); V, volume of the water body or zone of the water body (l); Q<sub>i</sub>, Q<sub>o</sub>, quantity of water entering and leaving the water body respectively (l/day); P<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>, biomass density in inflowing water of phytoplankton and zooplankton respectively (mg · l<sup>-1</sup>); CPUMP<sub>p</sub> and CPUMP<sub>z</sub> functions to account for the effect of vertical distributions of phytoplankton and zooplankton respectively on the concentrations of these two state variables in the water leaving the water body (dimensionless); G<sub>p</sub>, G<sub>z</sub>, growth rates for phytoplankton and zooplankton respectively (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>); R<sub>p</sub>, R<sub>z</sub>, respiration rates for phytoplankton and zooplankton respectively (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>); M<sub>p</sub>, M<sub>z</sub>, mortality rates for phytoplankton and zooplankton respectively (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>); PR<sub>p</sub>, rate of grazing on phytoplankton by zooplankton (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>) and PR<sub>z</sub>, rate of predation on zooplankton by fish (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>).

FORMULATIONS OF PROCESSES

The hydraulic processes are represented by the standard equations for the rate of change of concentrations in a water body with inflow and outflow, and these can be found in most elementary calculus textbooks. These processes were included for the simulations of the Desaulniers reservoir only, since the hydrodynamics were known. The inflowing densities (P<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>) were measured at the three points of inflow into the Desaulniers reservoir under the same sampling regime as the sampling at G2-129. The two functions CPUMP<sub>p</sub> and CPUMP<sub>z</sub> were simple inverse functions of depth. Thus:

$$CPUMP_p = 3.0/DEPTH$$

$$CPUMP_z = 1.2/DEPTH$$

were DEPTH is depth of water (m) at G2-129. Once flooded, the depth never went below 3 m. This function had the effect of reducing the relative concentration of the state variables that were pumped out of the reservoir in proportion to depth.

Excluding biological predation, processes were modeled using formulations found in the literature. (Table I) and the reader is referred to Patten *et al.* (1975), Steele (1975), Ditoro *et al.* (1975), Swartzman & Bentley (1979), and Thérien *et al.* (1981). Parameter values were taken from the extensive literature reviews of Augereau (1979), Jorgensen (1979), and Patten *et al.* (1975). All processes except phytoplankton sedimentation and zooplankton mortality were considered temperature-dependent.

The two predation processes differ somewhat from what is usually found in the literature. The fish data are in terms of kg captured per hour per 100 m<sup>2</sup> of gill net. This is a ratio scale variable, but the factor for conversion to a value per unit volume of water is not known. Thus, this effect has been simply calibrated in the model by adjusting PR<sub>z</sub> MAX.

The process of the grazing of zooplankton on phytoplankton (PR<sub>p</sub>) has been the subject of much discussion, and the literature abounds with proposed formulations for grazing. Jorgensen (1980) presented 14 different structures proposed by various authors. This grazing term is a key factor in the dynamics of both plankton compartments since it is not only a loss from the phytoplankton compartment, but it is the source of growth for zooplankton. This can be expressed as:

$$G_z = AE \cdot PR_p \quad (3)$$

where G<sub>z</sub> is the growth rate of zooplankton (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>); AE, assimilation efficiency (dimensionless) and PR<sub>p</sub>, rate of grazing on phytoplankton by zooplankton (mg · l<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>).

Three significantly different scenarios have been used by various authors to express the influence of plankton densities on grazing. The first, used by Ditoro *et al.* (1975) among others, considers grazing to be affected directly by the densities of both phytoplankton and zooplankton, such that:

$$PR_p \sim P \cdot Z \quad (4)$$

This formulation does not take into account searching activity or competition and

TABLE I

Formulations for biological processes  
 P = phytoplankton density    Z = zooplankton density

Process	Equation	Functions and parameters
Phytoplankton growth	$G_p = G_p \text{ MAX} \cdot f(\text{LIGHT}) \cdot f(\text{TEMP}) \cdot P$	<p><math>G_p \text{ MAX}</math> = maximum growth rate            = 1.2</p> <p><math>f(\text{LIGHT})</math> = response of growth to light intensity</p> $= \frac{e \cdot \text{PHOTO}}{\text{CE} \cdot \text{DEPTH}} \left\{ e^{\frac{-\text{INTENS} \cdot e^{-\text{CE} \cdot \text{DEPTH}}}{\text{SAT}}} - e^{\frac{-\text{INTENS}}{\text{SAT}}} \right\}$ <p>PHOTO = PHOTOPERIOD / 24 h (measured)            CE = EXTINCTION COEFFICIENT (measured)            = 1.5 (DESAULNIERS)            = 0.75 (LG2)            DEPTH = DEPTH OF EUPHOTIC ZONE            = VARIABLE (DESAULNIERS)            = 10 m (LG2)            INTENS = LIGHT INTENSITY (langley / day) (measured)            SAT = SATURATION INTENSITY            = 500 langleys / day</p> <p><math>f(\text{TEMP})</math> = response of growth to temperature            = <math>0.1 + 0.045 \cdot \text{TEMP}</math></p>
Phytoplankton respiration	$R_p = R_p \text{ MAX} \cdot f(\text{TEMP}) \cdot P$	<p><math>R_p \text{ MAX}</math> = maximum respiration rate            = 0.032</p> <p><math>f(\text{TEMP})</math> = response of respiration to temperature            = <math>0.05 \cdot \text{TEMP}</math></p>
Phytoplankton sedimentation	$M_p = K \cdot P$	<p>K = sedimentation rate            = 0.015</p>
Grazing on phytoplankton by zooplankton	$PR_p = PR_p \text{ MAX} \cdot f(\text{TEMP}) \cdot \frac{P}{P + K_1} \cdot \frac{P/Z}{P/Z + K_2} \cdot Z$	<p><math>PR_p \text{ MAX}</math> = maximum grazing rate per zooplankter            = 1.0</p> <p><math>f(\text{TEMP})</math> = response of grazing to temperature            = <math>0.05 \cdot \text{TEMP}</math></p>

		$K_1$ = half-saturation constant to express effect of phytoplankton density on zooplankton search time = 0.45 $K_2$ = half-saturation constant to express effect of ratio of phytoplankton to zooplankton on competition among zooplankton = 0.9 (DESAULNIERS) = 20.0 (LG2)
Zooplankton growth	$G_z = PR_p \cdot AE$	$AE$ = assimilation efficiency = 0.7
Zooplankton respiration	$R_z = R_zMAX \cdot f(TEMP) \cdot Z$	$R_zMAX$ = maximum respiration rate = 0.05 $f(TEMP)$ = response of respiration to temperature = $0.1 + 0.045 \cdot TEMP$
Zooplankton mortality	$M_z = K \cdot Z$	$K$ = mortality rate = 0.004
Predation on zooplankton by fish	$PR_z = PR_zMAX \cdot f(TEMP) \cdot FISH \cdot Z$	$PR_zMAX$ = maximum predation rate = 0.06 (DESAULNIERS) = 0.10 (LG2) $f(TEMP)$ = response of predation to temperature = $0.05 \cdot TEMP$ $FISH$ = fish catch per unit effort data (kg/h/100 m <sup>2</sup> of net)

the constants used in the formulation are difficult to define biologically. The second formulation, used by Steele (1975) and Thérien *et al.* (1981) considers a maximum or saturation predation rate per unit of zooplankton biomass which is reduced in relation to the phytoplankton density. Frequently a threshold density for phytoplankton is also specified, below which grazing ceases. This type of formulation is specified by:

$$PR_p \sim \frac{P - P_{min}}{P + K_1} \cdot Z \quad \text{when } P > P_{min} \quad (5)$$

otherwise

$$PR_p = 0 \quad \text{when } P \leq P_{min}$$

where  $P_{min}$  is the threshold density of phytoplankton ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) (when included) and  $K_1$  a half-saturation or Michaelis-Menton constant ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ).

This type of formulation accounts for searching activity by the zooplankton, but does not account for competition. The third type of formulation, used by MacCormick *et al.* (1972) also considers a maximum or saturation predation rate per unit of zooplankton biomass which is reduced in relation to phytoplankton biomass, but the effect of competition among zooplankton is included. This formulation is:

$$PR_p \sim \frac{P}{P + K_2 Z} \cdot Z \quad (6)$$

An alternate way to express the same function, and which demonstrates how competition is included is:

$$PR_p \sim \frac{P/Z}{P/Z + K_2} \cdot Z \quad (7)$$

where  $K_2$  a half-saturation constant (dimensionless).

The ratio of  $P$  to  $Z$  represents how much food is available per unit biomass of predator. When this ratio is high, competition will be low, and the converse is also true. However, this formulation does not include the effect of searching time on grazing.

While none of these formulations incorporate explicitly all of the effects known to influence grazing, each one can be applied to certain circumstances where only those factors included are actually important. For example, in a water body where phytoplankton are very abundant, searching activity will not limit grazing. However, in the waters of the James Bay region, the observed concentrations of plankton are lower than those

observed in temperate regions. Thus both searching activity and competition can limit grazing, and we have combined the second and third formulations into:

$$PR_p \sim \frac{P}{P + K_1} \cdot \frac{P/Z}{P/Z + K_2} \cdot Z \quad (8)$$

#### AGGREGATION OF COMPARTMENTS

Ecological systems are by nature intricate and complicated. Even what may on the surface appear to be a simple process in an ecological system may be affected by a large number of factors. The descriptive ability of models is somewhat limited in comparison to the volume of scientific detail known about ecosystems (Ziegler, 1976). Thus a common practice in ecological modelling is the aggregation of various components into simplified compartments, at least in the early stages of model development (McLeod, 1976). Such a "skeletal" model can later be disaggregated in pieces as more information becomes available or as greater detail is deemed necessary. Aggregation is not new in ecology, having been used in the development of the concept of trophic efficiencies (Kozlovsky, 1968).

The model discussed here is still in relatively early stages of development, and simplifications have been made. Thus the three state variables shown in figure 2 are aggregates of their respective components. While this may seem to be an oversimplification, it should be viewed as a starting point. To commence with intricate models results generally in confusion and wasted effort (McLeod, 1976).

#### Simulation runs

For the three lake stations (G2-403, G2-404 and G2-405) the model has been run on a station-by-station basis for a 3-year period. Due to a lack of hydrodynamic data for these lakes, the hydraulic processes have not been considered. This is reasonable for the first two years since any hydraulic effects in the unperturbed lakes would be small in comparison to the effects in a reservoir undergoing water level fluctuations. For the third year, following impoundment of the LG2 reservoir, the simulations provide information on what could have happened in the absence of significant hydraulic effects.

For station G2-129 in the Desaulniers reservoir, more information is available on

the hydrodynamics, and hydraulic effects are included. The reservoir is divided into 8 zones to adequately represent flooding and water movements, and the model is run for all zones with inflows and outflows among the zones. The relative magnitudes of the hydraulic effects ( $\Delta V/V/\Delta t$ ) have caused some numerical problems. Thus the time step used in the simulations is small, and run time limitations have caused us to run the model only during the ice free periods in the years 1977 and 1978. Our understanding of the hydraulic effects is better at this time of year. As can be seen in the Table I, some recalibration has also been necessary due to the differences in both the reservoir characteristics and the magnitudes of the zooplankton densities as compared to the lake stations. Some of the implications of this recalibration are covered in the discussion of results.

## Results and discussion

### LAKE STATIONS

The results of the simulations for these stations are shown in Figure 3. At all three stations, the phytoplankton dynamics are well represented. The timing of peaks agrees well with the observed data and any differences in magnitude are well within a reasonable range for experimental error.

The results for zooplankton are also in fairly good agreement with the observed data. There is however consistent over-estimation of zooplankton biomass at G2-404 and under-estimation at G2-405 in contrast to G2-403. This can be understood if one considers the methods of model fine-tuning and the data collection. The model parameters were adjusted within the appropriate ranges found in the literature until the model fit the data from G2-403 reasonably well. The model was then applied to the other stations without changing any parameters. The vertical tows for zooplankton sampling were done from the bottom of each water body to the surface in 1977 and 1978. Zooplankton are found in LG2 predominantly in the upper 10 m, deeper migrations possibly not being necessary due to low light penetration (Wetzel, 1975). The same density in the upper 10 m will appear as a lower overall density throughout the water column if the sample is taken in water deeper than 10 m. It should also be apparent that the reduction in overall water column

density will be related to the depth from which the vertical tow is commenced. The depths at stations G2-403, G2-404 and G2-405 in 1978 were respectively 26 m, 52 m, and 16 m. In comparison with station G2-403, the same density in the upper water layers will appear in samples as a lower overall density at G2-404 but as a higher overall density at G2-405. The model is representing the same dynamics at all three stations and therefore the three sets of predictions are quantitatively similar. This sampling phenomenon will have to be taken into account in future data analyses. Since phytoplankton samples are taken in the euphotic zone only, this type of sampling problem is avoided.

The extremely high point in mid-1979 at G2-404 was due to the presence of *Leptodora kindtii* in that sample, a species not found in any other samples from the same or other stations. The estimated biomass for this species comprised 87% of the total estimate. The biomass of this species was not measured, but was estimated based on the value of 1 mg/individual found by Nauwerck (1963) (as cited by Pinel-Alloul & Méthot, 1979). This data point could be an outlier due to misidentification or an inappropriate biomass estimate.

Excepting this data point, the data show a rise in zooplankton biomass over the three years at all three stations. Reasons for this are not clear. The first and second years represent natural conditions, and noticeable changes would not be expected between these two years. The data for the first year may not be as accurate as those for the second year. A priori, changes in biomass in the third year can be seen as resulting from several factors: 1) The density of fish would be diluted after flooding, thus reducing predation on a per-unit-volume basis. 2) A certain amount of litter on the surrounding land would go into suspension as seston after flooding, providing a secondary food source (Conover, 1966). 3) Sampling was not done as deeply in 1979 as in preceding years, causing an apparent increase in density. 4) Zooplankton density would be diluted as a result of flooding by zooplankton-poor water (snow-melt). 5) Changes would occur in the physical-chemical regimes of the water bodies as a result of flooding, especially temperature, oxygen, and nutrients. 6) Changes would occur in phytoplankton densities after flooding, thus changing food availability.



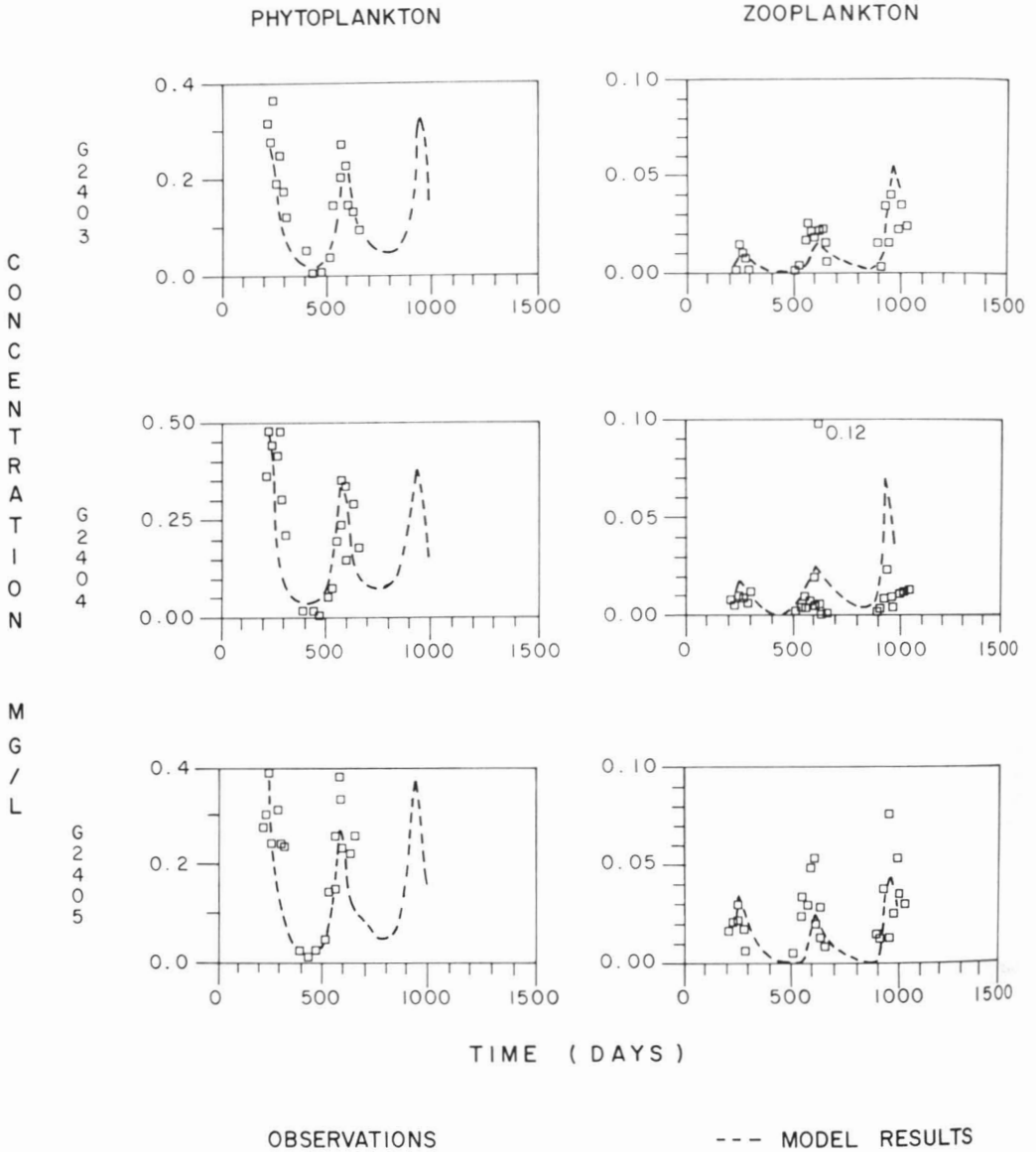


Figure 3. Observed and calculated concentrations of the plankton at the three lake stations over time. Concentrations are in  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , and time in days since 1977-01-01.

The importance of these different factors cannot yet be quantified. At present the model only considers effects 1 and 5, but these are sufficient to effect a noticeable increase in the third year. We have verified that this increase is not due to model instability, but is a result of the forcing functions fed in as data. More work will be necessary to sort out and quantify all six effects.

DESAULNIERS RESERVOIR

The dynamics of the plankton are not represented quite as well for the reservoir as for the lakes (Fig. 4). In 1977, the phytoplankton dynamics are simulated fairly well, while the model calculates a peak in zooplankton before it occurs. In 1978, the model does not follow the observed dynamics very

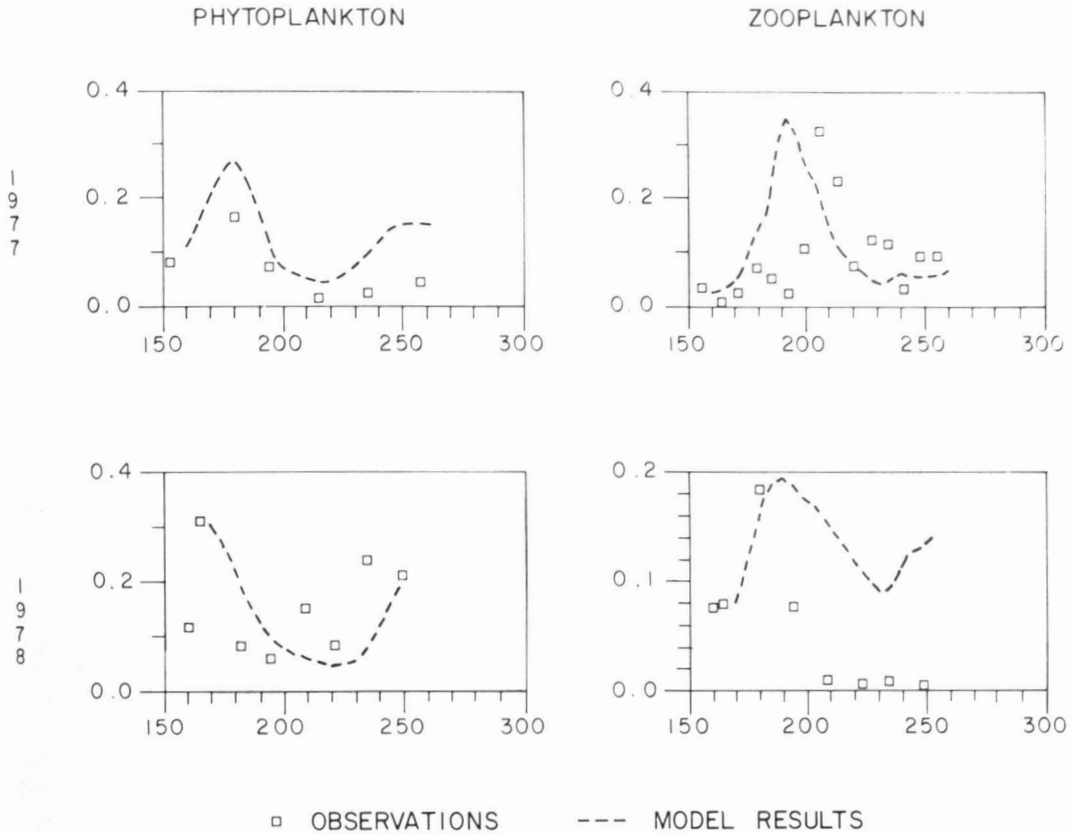


Figure 4. Observed and calculated plankton concentrations at G2-129 over time. Concentrations are in  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , and time in days since 1 January in the respective years.

well. The zooplankton are reduced to a low level in 1978, but the model does not predict as severe a reduction.

When examined as an interacting system, certain points become apparent. The difference in timing between the observed and calculated zooplankton peaks in 1977 suggest that small fish may have been preying heavily on zooplankton at this time and there is some data to suggest this (Boucher, 1980). However, for the zooplankton to be able to increase at the time observed while phytoplankton density is already low, even in the absence of predation an alternate food supply such as seston would seem to be implicated.

The data for both phytoplankton and zooplankton in 1978 seem unusual. The high value for phytoplankton occurs at the beginning of the growing season. While in more southerly locations this would correspond to the maximum at spring overturn, such a bloom has not been noticed in the lakes in the area. This may be a sampling

problem, however. What is more unusual is that the observed zooplankton biomass remains so low for the latter part of the summer in 1978 while phytoplankton are plentiful. This could result from an increase in predation by small planktivorous fish.

A more interesting point to speculate on is whether the reduction in late 1978 indicates a certain stabilization of the plankton community under the new (flooded) regime. The ratio of zooplankton biomass to phytoplankton biomass is approximately in the range of 1:1 in 1977 and early 1978, but falls to about 1:10 in late 1978. This ratio is more in line with that found at the lake stations in LG2, and is of significance for the parameter  $K_2$  in the grazing equation. One possible explanation is that observed species shifts are changing food availability. Recent work (McCauley & Kalff, 1981) has suggested that there is an approximately linear relationship between crustacean zooplankton and nannoplankton. In 1978, the proportion of diatoms in the phytoplankton started to

increase in the Desaulniers reservoir, although this was not as high as the proportion found at the LG2 stations. Thus the proportion of nanoplankton decreased which could result in a decrease of zooplankton. Species shifts were not accounted for in the model.

Another possible reason for such a stabilization would be that the forest litter suspended as seston after inundation in 1977 could be slowly reduced due to sedimentation, flushing, and consumption, and may cease being a significant alternate food for zooplankton by late 1978. There are data on seston that demonstrate such a reduction over time (Pinel-Alloul & Méthot, 1979; Pinel-Alloul *et al.*, 1980). However, such speculations must be tempered by the fact that sampling techniques differed between the two sets of stations, and the data may not be absolutely comparable between the two sampling regimes.

### Conclusion

The model we have formulated works reasonably well for lakes in approximately steady-state conditions. The model does not work as well for the Desaulniers reservoir, but several characteristics found in this reservoir, notably the hydraulic effects, differ from what would be expected in a normal reservoir. Many of the observed ecological changes in the Desaulniers reservoir are considered artifacts related to the unusual nature of the reservoir (D. Roy., pers. comm.). Work is currently underway to obtain the necessary hydraulic data for the LG2 reservoir and to analyze the phytoplankton data from 1979. Once this is completed the model can be properly tested for a normal reservoir.

Because the model has such a simple structure, many processes are not included. Species succession, food preferences, invertebrate predation, and the grazing on phytoplankton by fish are noteworthy, as are the influences of nutrients on primary production. Lack of sufficient data has forced us to leave most of these out. By not including these processes we have certainly limited the biological realism of the model. Whether or not this has affected the value of the model cannot yet be determined. The lack of nutrient influences is especially troublesome since the importance of nutrients (and especially orthophosphates)

to primary production has been demonstrated again and again by various authors, usually on a macro-scale (widely separated water bodies). Seasonal analyses have usually been inconclusive. In the water bodies we have examined, the orthophosphate concentrations have been low, usually below detection. Total phosphorus does not give a meaningful indicator of active phosphorus due to the deactivation of phosphates in these reservoirs by iron (D. Roy, pers. comm.). Clearly more work will have to go into this model before it is to be considered as complete.

The input data that we have used is not as complete as might be wished. The estimates of fish are incomplete since there is little data on smaller individuals of all species. Patchiness is something that could affect the estimates of plankton biomass greatly, and for this reason the model was "fine-tuned" only enough to follow the major trends rather than risk a meaningless "over-fit". That both the experimental data and the model are so consistent at all three lake stations would seem to indicate some success here.

There is an important difference between the Desaulniers and LG2 reservoirs in how the hydraulic effects are represented. The Desaulniers reservoir is not very deep, and changes in volume have been represented as changes in total volume. Since LG2 is deeper, the volume changes examined will only be changes to the volume of the photic zone. These changes will also be less drastic and thus will cause fewer numerical problems.

### Acknowledgments

Funding for this research has been provided by grants from the Direction Environnement of the Société d'Énergie de la Baie James (S.E.B.J.). Helpful suggestions and assistance with data analysis were provided by Roger Lemire, Dominique Roy, Alain Bachand, Roger Schetagne, and Haider Zaidi of S.E.B.J., and by Bernadette Pinel-Alloul and Ginette Méthot of l'Université de Montréal.

### References

- AUGEREAU, C., 1979. Modélisation dynamique des populations planctoniques d'un réservoir en climat subarctique. — M. Sc. thesis, Univ. Sherbrooke, Québec, 237 p.
- BACHAND, C. A. (édit.), 1979. Réseau de surveillance écologique du complexe La Grande. —

- Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 500 p.
- BOUCHER, R., 1980. Bioécologie des espèces de poissons du bassin de la rivière Désaulniers en 1976, 1977 et 1978. — Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 150 p.
- BOUCHER, R., G. BOIVIN, J. DEMERS, G. GUAY, C. HARVEY, R. LALONDE & R. LEMIRE, 1978. Méthodologie employée lors de l'étude du réservoir Désaulniers en 1976, 1977 et 1978. — Direction Environnement Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 48 p.
- BOUDREAU, J., 1981. Macroinvertébrés benthiques: analyse des données de 1979. — Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 65 p.
- CLOUTIER, L. & E. DUFORT, 1980. Effets de la mise en eau du réservoir Désaulniers sur les communautés benthiques en 1977 and 1978. — Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 104 p.
- CONOVER, R.J., 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. — *Limnol. Oceanogr.*, 11: 338-345.
- DITORO, D.M., D.J. O'CONNOR, R.V. THOMANN & J.L. MANCINI, 1975. Phytoplankton-zooplankton-nutrient interaction model for western Lake Erie. — Pages 423-442 in B.C. Patten (ed.), *Systems analysis and simulation in ecology*. Vol. III. Academic Press, New York, 601 p.
- DUFORT, F. & G. MÉTHOT, 1974. Régime alimentaire des poissons des rivières et des lacs de la région de LG2. — Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 116 p.
- FOX, P., J. LAPIERRE & R. CARLSON, 1979. Northern lake modelling: a literature review. — *Water Resour. Res.*, 15: 1065-1072.
- JORGENSEN, S.E. (ed.), 1979. *Handbook of environmental data and ecological parameters*. — International Society for Ecological Modelling, Copenhagen, 1162 p.
- JORGENSEN, S.E., 1980. *Lake management*. — Pergamon Press, New York, 167 p.
- KOZLOVSKY, D.G., 1968. A critical evaluation of the trophic level concept. I. Ecological efficiencies. — *Ecology*, 49: 48-60.
- MACCORMICK, A.J., O.L. LOUCKS, J.F. KOONCE, J.F. MITCHEL & P.R. WEILER, 1972. An ecosystem model for the pelagic zone of Lake Wingra. — *Eastern Deciduous forest Biom.*, Memo Rep. no. 72-1022, 103 p.
- MAGNIN, E., 1977. *Écologie des eaux douces du territoire de la baie James*. — Service Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 454 p.
- MCCAULEY, E. & J. KALFF, 1981. Empirical relationships between phytoplankton and zooplankton biomass in lakes. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 38: 458-463.
- MCLEOD, J., 1976. Simulating the world ecosystem. — Pages 239-247 in B.C. Patten (ed.), *Systems analysis and simulation in ecology* — Vol. IV. Academic Press, New York, 593 p.
- NAUWERCK, A., 1963. Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. — *Symb. bot. upsal.*, 17: 93-105.
- PATTEN, B.C., 1968. Mathematical models of plankton production. — *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 53: 357-408.
- PATTEN, B.C., D.A. EGLOFF & T.H. RICHARDSON, 1975. Total ecosystem model for a cove in Lake Texoma. — Pages 206-421 in B.C. Patten (ed.), *Systems analysis and simulation in ecology* — Vol. III. Academic Press, New York, 601 p.
- PINEL-ALLOUL, B. & G. METHOT, 1979. Étude complémentaire sur la relation entre la biomasse zooplanctonique et la masse sestonique. — Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 50 p.
- PINEL-ALLOUL, B., G. METHOT & B. CODINBLUMER, 1980. Zooplancton-analyse des données en 1979. — Direction Environnement, Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, 150 p.
- SPRULES, Y.G., 1972. Effects of size-selective predation and food competition on high altitude zooplankton communities. — *Ecology*, 53: 375-386.
- STEELE, J.H., 1975. *The structure of marine ecosystems*. — Blackwell Scientific Publications, Oxford, 128 p.
- SWARTZMAN, G.L. & R. BENTLEY, 1979. A review and comparison of plankton simulation models. — *I.S.E.M. Journal*, 1: 30-81.
- THÉRIEN, N., K. MORRISON, C. AUGEREAU, M. DE BROISSIA & B. COUPAL, 1981. A model of plankton dynamics for northern reservoirs. — Pages 55-69 in N. Thérien (ed.), *Simulating the environmental impact of a large hydroelectric project*. Simulation Proceedings Series (Society for Computer Simulation, La Jolla, California), 118 p.
- WETZEL, R., 1975. *Limnology*. — W.B. Saunders, Toronto, 743 p.
- ZIEGLER, B.P., 1976. The aggregation problem. — Pages 299-311 in B.C. Patten (ed.), *Systems analysis and simulation in ecology* — Vol. IV. Academic Press, New York, 593 p.



## RÉPERCUSSIONS DE LA COUPURE DE LA GRANDE RIVIÈRE À L'AVAL DE LG 2

D. ROY

*Service d'écologie, Direction de l'environnement  
Société d'Énergie de la Baie James  
800 boulevard de Maisonneuve est  
Montréal, Québec H2L 4M8*

### Résumé

La Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ) a mis en eau le réservoir de LG 2 le 27 novembre 1978. Des études avaient montré les avantages d'une coupure complète de la rivière en hiver pour freiner la remontée saline en aval du premier rapide. Par la suite, il a été possible d'utiliser l'évacuateur de crues pour augmenter graduellement le débit dans La Grande Rivière. Au début d'avril, l'eau salée avait pénétré jusqu'au kilomètre 31,6; après plusieurs va-et-vient dus à la disparition du couvert de glace et à des variations de débit et de marées, on n'a plus enregistré d'eau salée après le 20 novembre. La température minimale enregistrée en hiver fut de  $-1,4^{\circ}\text{C}$ . Ces modifications de l'habitat ont forcé les poissons qui avaient cherché refuge dans la rivière à se déplacer vers l'amont. Les poissons ne furent pas forcés d'utiliser le passage à poissons aménagé au kilomètre 37, car il est resté suffisamment d'espace pour accommoder tous les individus. Aucun niveau critique d'un paramètre physico-chimique ne fut observé dans le tronçon compris entre le premier rapide de la rivière (km 37) et la digue de LG 2.

Aucune mortalité importante ne fut observée pendant toute la durée de la coupure. Les captures de poissons effectuées en 1980 indiquent que la densité de population est revenue au même niveau qu'en 1977 et 1978 et que la répartition des espèces est sensiblement la même.

### Abstract

The Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ) initiated the impoundment of the LG 2 Reservoir on November 27, 1978. Studies had shown the advantages of totally cutting off the river in winter in order to slow down the saltwater front downstream of the first rapids. The spillway could then be used to gradually increase the flow in the La Grande Rivière. At the beginning of April, the saltwater front had reached kilometre 31.6. After several saltwater ascents and descents due to the melting of the ice cover and variations in flow and tides, samples taken after November 20<sup>th</sup> revealed no salinity.

Minimum temperature recorded in winter was  $-1.4^{\circ}\text{C}$ . Changes in the habitat have caused the fish in the river to move upstream; however, the fishway at kilometre 37 was not used because there was no saline intrusion in a section of the river, long enough for all individuals to go through. None of the physicochemical parameters reached a critical level in that stretch of the river between the first rapids and the LG2 main dam.

Mortality rate amongst the fish did not increase significantly during the entire period the river was cut off. The catch in 1980 indicates that population density has returned to the levels of 1977 and 1978 and that species distribution is roughly the same.

### Introduction

Le complexe La Grande, situé à 1 000 km au nord-ouest de Montréal, comprend

dans sa première phase la construction de trois centrales sur La Grande Rivière, soit LG 2, LG 3 et LG 4, le détournement des rivières Eastmain et Opinaca au sud et le

détournement de la rivière Caniapiscou à l'est (fig. 1). À 117 km de l'embouchure de La Grande Rivière, la centrale de LG 2 est construite à 137 m sous terre. Le 27 novembre 1978, s'opérait la coupure du débit de La Grande Rivière au barrage de LG 2, et conséquemment, le remplissage du réservoir. Dès lors le tronçon aval de La Grande Rivière ne pouvait provisoirement compter que sur les apports du bassin résiduel, rendant inévitable une intrusion des eaux saumâtres de la baie James.

La Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ) s'est vu confier le mandat de sauvegarder l'équilibre écologique de cet environnement qui serait inévitablement perturbé en aval de LG 1. Comme il n'existe aucune documentation sur ce sujet, le présent rapport rend compte, d'une façon inédite, de l'étude du mouvement des poissons soumis

à la coupure d'une rivière qui constitue leur milieu écologique.

### Mode de coupure et remplissage du réservoir

En 1973, la SEBJ considéra le remplissage du bief d'amont de LG 2. Alors prévu pour le printemps 1979, il nécessitait une coupure complète ou partielle de La Grande Rivière au droit de la centrale.

Un choix s'imposait quant au mode de coupure à préconiser afin de sauvegarder les populations de poissons semi-anadromes et de maintenir un niveau de pêche acceptable pour les habitants de Fort-Georges (Chisasibi).

Une étude de l'intrusion saline dans l'estuaire de La Grande Rivière fut réalisée en 1973 par Desroches (1975), à l'aide d'un

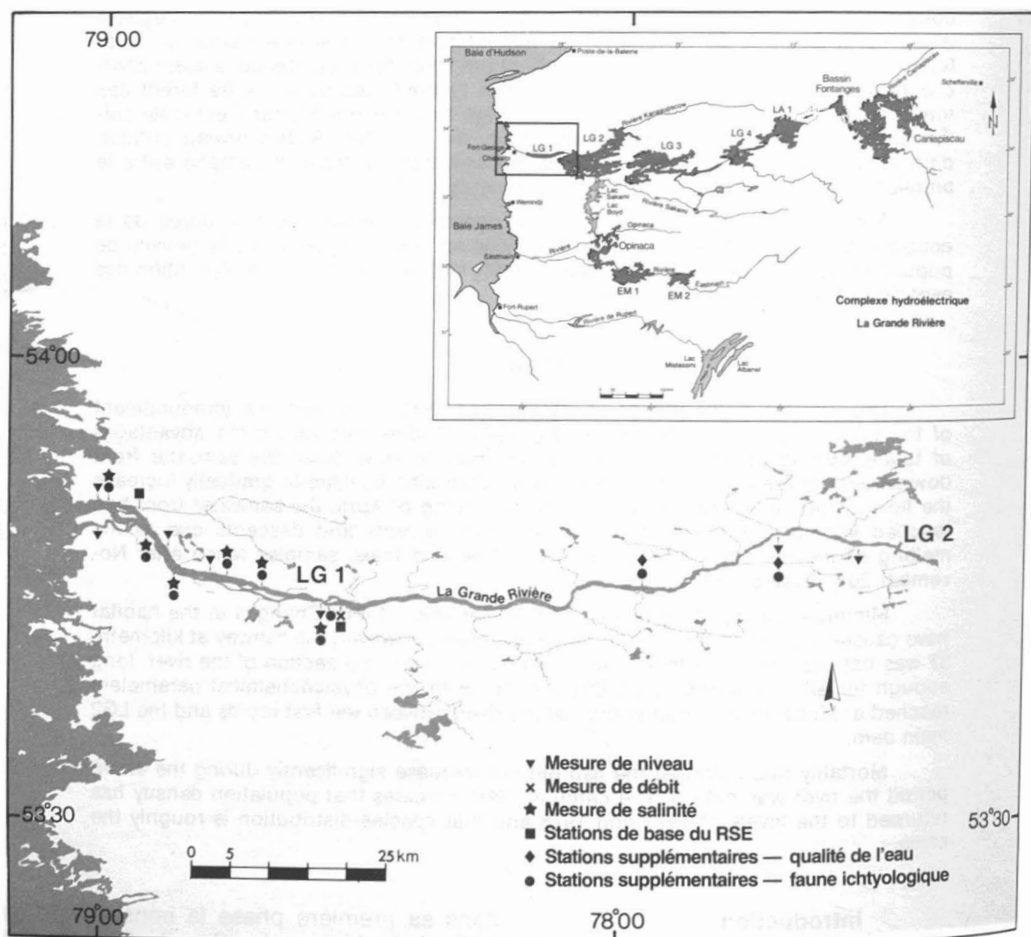


Figure 1. Complexe hydro-électrique, La Grande. Les réservoirs créés en phase 1 sont représentés par la trame foncée et ceux projetés en phase 2, par la trame plus claire.

modèle mathématique (fig. 2). À partir des résultats, diverses variantes techniques pour le remplissage du bief d'amont de LG 2 ont été présentées dans un rapport publié en janvier 1974 par le Service de l'environnement (Bolullo & Lussier, 1974). Parmi les solutions proposées, celle de la construction d'un seuil déversoir au km 16,5 fut retenue. Son avantage premier était de limiter, pour des conditions de débit de  $285 \text{ m}^3/\text{s}$ , l'intrusion saline en amont du km 16,5, et cela à un coût relativement peu élevé.

En 1977, l'avance des travaux à LG 2 a permis d'envisager une mise en eau hâtive pour l'automne 1978. Étant remise à l'étude, cette fois à l'aide d'un modèle physique réduit, la construction du seuil déversoir paraissait quasi impossible avant la diminution du débit de La Grande Rivière. Il semblait très difficile d'arriver à terme avant que l'intrusion saline n'atteigne le lieu de mise en place. De plus, le déversoir augmenterait la vitesse du courant à un degré excessif pour les poissons. On s'est donc tourné, grâce au modèle physique, vers une autre solution.

Les essais démontrèrent qu'en période d'eau libre, le front salin remonterait rapidement jusqu'au km 37, mais que sous couvert de glace cette progression serait freinée et pourrait être limitée au km 20 si le débit fluvial prévu de  $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$  se maintenait durant tout l'hiver (fig. 3). Après la débâcle qui devait se produire à la mi-mai 1979, la remontée de la salinité pourrait être contenue dans des limites acceptables grâce à l'addition d'un débit d'appoint provenant de l'évacuateur de crues (Boivin & Clément, 1977).

Aussi, au site de LG 1, le canal de dérivation provisoire fut modifié afin de diminuer les vitesses du courant. De cette façon, les poissons de toutes tailles pourraient remonter vers l'amont où une section de plus de 30 km de rivière pourrait les accueillir.

Le remplissage du réservoir s'est donc effectué dès le 27 novembre 1978, après le début de la formation du couvert de glace sur la rivière en aval de LG 1. En juin 1979, aussitôt que le niveau d'eau du réservoir

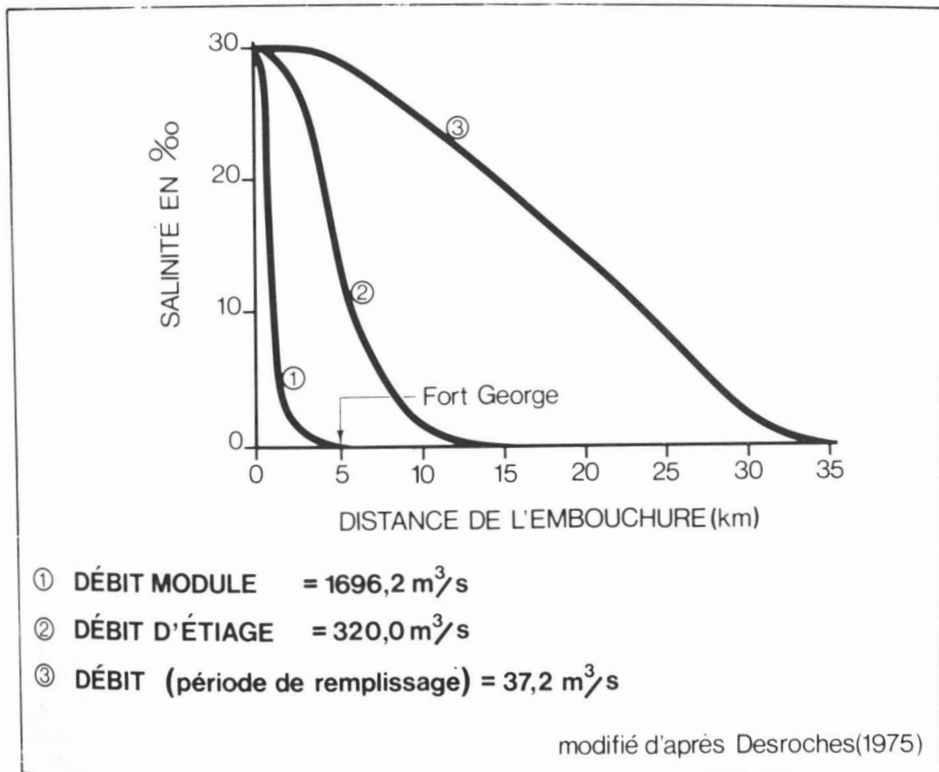


Figure 2. Concentration saline de l'eau de La Grande Rivière en fonction de la distance de l'embouchure, calculée pour plusieurs débits au moment de l'étalement de haute mer et pour une amplitude de marée moyenne.



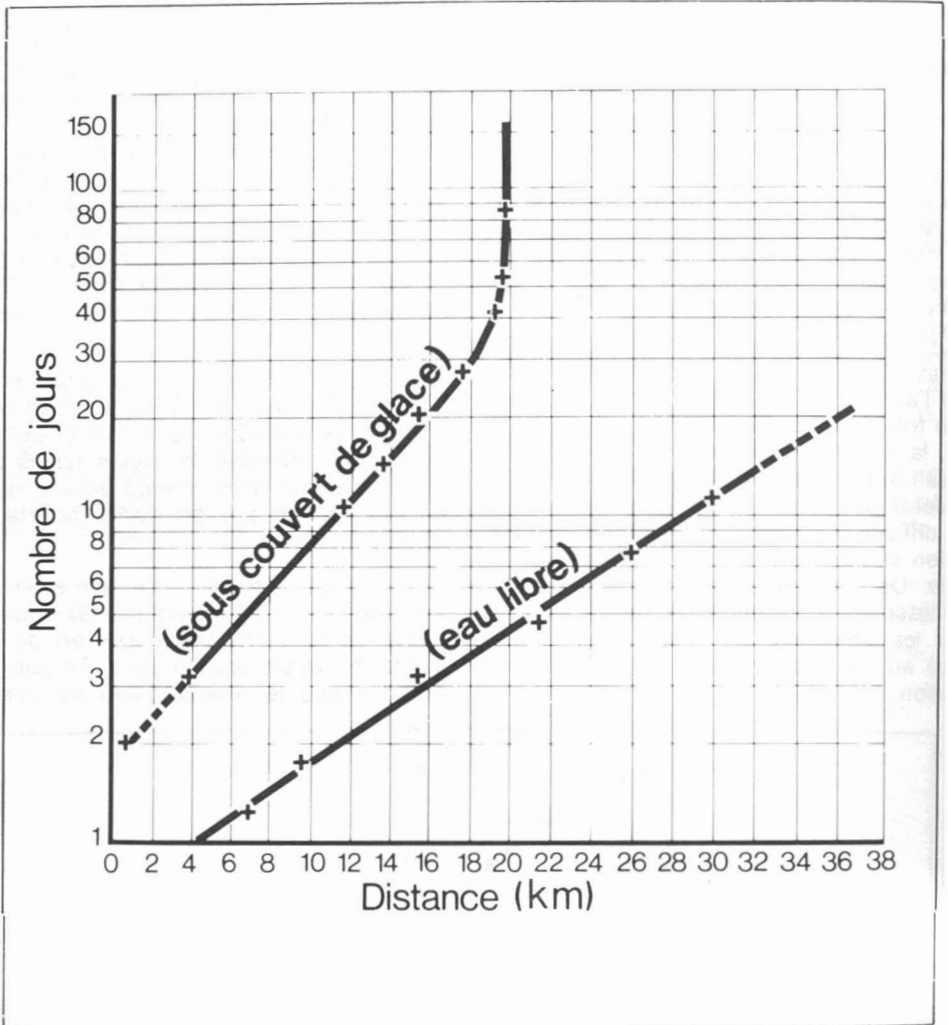


Figure 3. Progression et limite de l'intrusion saline en condition d'eau libre et sous couvert de glace, selon le modèle physique réduit.

a atteint la cote 157 m, un débit canalisé par l'évacuateur de crues s'est additionné aux apports provenant du bassin résiduel, se trouvant à refouler le front salin. Le débit a été restitué en octobre 1979.

Au moment de la coupure, le tronçon inférieur de La Grande Rivière en aval du point kilométrique 35 était entièrement recouvert d'une mince couche de glace. À LG 1, 60 heures plus tard, le débit initial avait diminué de 95%. Dès lors, la présence d'eau salée a été notée au km 3,8, ce qui signifiait le début d'une invasion saline dans le bief d'aval de LG 1 (Caron & Roy, 1980). Cette invasion aura duré un an (fig. 4) au cours duquel la salinité et la température

de l'eau de La Grande Rivière ont été mesurées à l'aide d'instruments automatiques ou manuels (Boivin, 1979).

### Matériel et méthodes

#### AVAL DE LG 1

En aval du premier rapide, un effort de pêche totalisant 937 jours-filets a été effectué à 6 stations régulières (M2,4; M7,2; M12; M15; M18; M20) et à 2 stations occasionnelles (M21; M23) (fig. 1). Ces stations étaient situées aux points milliaires correspondant à leur dénomination. En moyenne, les stations régulières ont été visitées neuf fois en hiver

et huit fois en été, soit à toutes les deux semaines. Par surcroît, l'équipe du réseau de surveillance écologique a tenu en été des activités de pêche aux stations Fort-George (Chisasibi) au km 10 et LG 1 au km 39. Chacune a été visitée quatre fois, ce qui correspondait à des efforts totaux de 64 jours-filets. En hiver, à cause de difficultés saisonnières, seulement quatre stations ont été visitées simultanément. La station M18 (km 28,8) a remplacé la station M2,4 (3,8 km) lorsqu'il est devenu évident qu'il ne se capturerait plus que des poissons de mer et que le front salin progresserait au-delà du km 24. En été, toutes les stations régulières ont été échantillonnées avec la même fréquence.

Des filets maillants expérimentaux de 45,7 mètres de longueur ont été utilisés pour capturer presque toutes les tailles de poissons. Les efforts de pêche furent en moyenne de 155 heures-filets en hiver et de 42 heures-filets en été à chaque station.

#### AMONT DE LG 1

Au total, 94 échantillons d'eau ont été récoltés à sept stations. Trois stations de rivière (km 78,4, km 102,4, km 107,2) ont été visitées deux fois par mois. Une station de rivière (km 39) et deux à l'embouchure

de deux affluents (Achazi et Necopastic) ont été visitées mensuellement tandis qu'une autre en rivière (km 60) ne l'a été que deux fois (fig. 5). Comme le pourcentage de saturation en oxygène dissous a toujours été suffisamment élevé, la pêche sous la glace s'est limitée à l'activité normale du réseau de surveillance, soit 32 jours-filets au km 39.

## Résultats et discussion

#### AVAL DE LG 1

Au total, 137 poissons de mer et 4 559 poissons semi-anadromes ou d'eau douce ont été capturés à l'aval de LG 1. Les filets étant des engins de pêche passifs, les rendements par unité d'effort peuvent être utilisés comme indice du déplacement des poissons. Dans l'ensemble, les résultats montrent que la moyenne des captures se situe autour de 0,2 poisson par heure-filet en hiver et 1,2 poisson par heure-filet en été.

Toutes les espèces de poissons capturées dans la rivière au cours de la progression du front salin peuvent se regrouper selon trois catégories qui tiennent compte de leur tolérance à la salinité (tableau I).

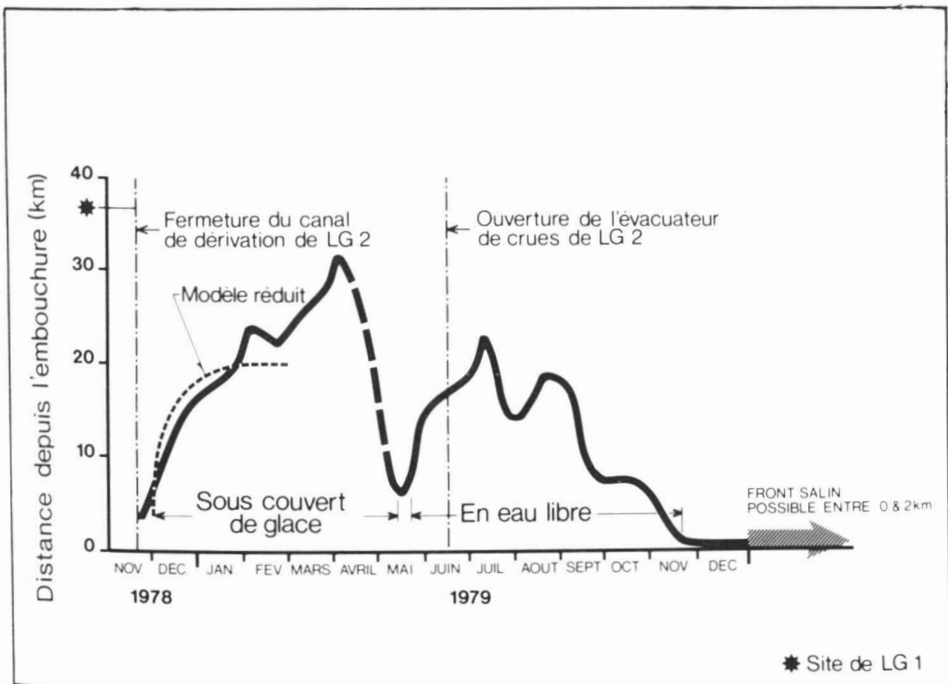


Figure 4. Évolution du front salin dans La Grande Rivière, de novembre 1978 à décembre 1979.

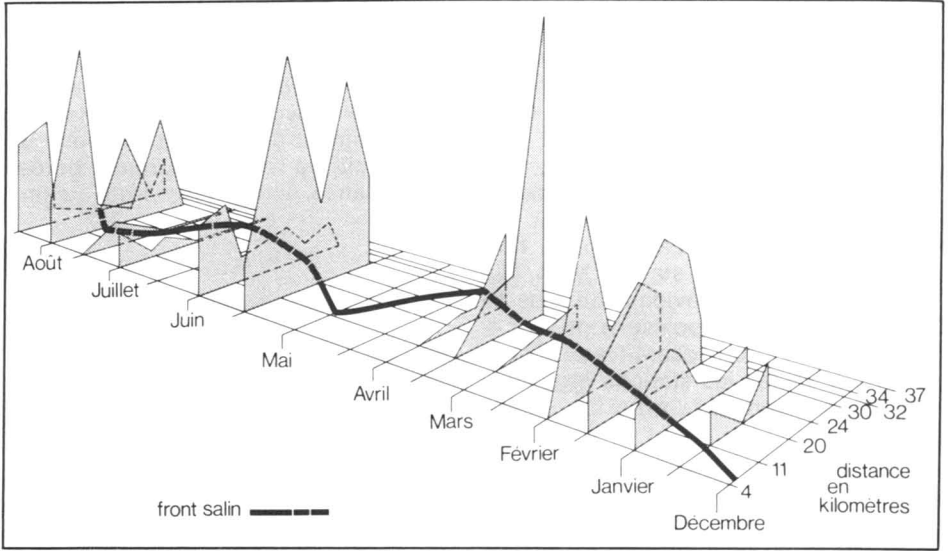


Figure 5. Intensité des déplacements du cisco de lac dans La Grande Rivière, en fonction du temps et de la limite de l'intrusion saline (—).

### Poissons marins

En premier lieu, viennent les poissons marins: l'ogac (*Gadus ogac*) et le chaboisseau à quatre cornes (*Myoxocephalus quadricornis*). Les 13 ogacs ont été capturés en hiver dans des eaux dont la salinité était supérieure à 16‰. Cette espèce n'a été rencontrée qu'aux stations M2,4 et M7,2, soit aux points kilométriques respectifs 3,8 et 11,5. Le chaboisseau s'est montré moins sélectif quant au niveau de salinité: pénétrant dans la rivière, à l'endroit de forte salinité, il n'a toutefois pas atteint la station M12 (km 19,2) et est demeuré dans la région de M2,4 et M7,2 jusqu'à la fin du mois d'août. Cette espèce a donc pu tolérer des salinités minimales de 2‰.

### Poissons semi-anadromes

Les espèces semi-anadromes sont ainsi nommées parce qu'elles séjournent en eau saumâtre en été, mais préfèrent l'eau douce en hiver. Les espèces qui ont manifesté le plus de tolérance en hiver sont, par ordre décroissant de résistance, le cisco de lac (*Coregonus artedii*) exceptionnellement retrouvé à 25‰ de salinité, l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), le grand corégone (*Coregonus clupeaformis*), la lotte (*Lota lota*), le ménomini rond (*Prosopium cylindraceum*), l'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) et le meunier rouge (*Catostomus catostomus*), tous rencontrés

entre 12 et 16‰ de salinité. Proportionnellement, les températures minimales supportées par ces espèces vont de  $-0,8$  à  $-0,4^{\circ}\text{C}$ , le cisco de lac tolérant jusqu'à  $-1,25^{\circ}\text{C}$ . En ce qui concerne l'épinoche à trois épines, on a constaté la mort d'une centaine d'individus à la station M7,2, à la fin de mars.

### Espèces dulçaquicoles

Enfin, les espèces typiquement dulçaquicoles ou non tolérantes à la salinité, comprennent surtout le doré (*Stizostedion vitreum*), le grand brochet (*Esox lucius*), le meunier noir (*Catostomus commersonii*) et le méné de lac (*Couesius plumbeus*). En hiver, à l'exception d'un doré capturé en eau saumâtre (8‰), tous les poissons n'ont été rencontrés qu'en eau douce, se déplaçant toujours en aval du front salin. Toutefois ces espèces ont été légèrement plus tolérantes à la salinité en été.

### Déplacements du cisco de lac

Le graphique tridimensionnel de la figure 5 illustre le comportement du cisco de lac, qui peut caractériser la plupart des poissons semi-anadromes. Les rendements témoignent moins d'une quantité de poissons que de l'intensité de leurs déplacements. La ligne en caractère gras indique la progression spatio-temporelle du front salin, lequel correspond arbitrairement à une salinité de 0,5‰ à 1‰.

TABLEAU I

Répartition des poissons trouvés dans La Grande Rivière au cours de la progression du front salin (Les valeurs entre parenthèses sont estimées)

	N°	Salinité (‰)				Température minimale (°C)
		Hiver		Été		
		Max.	Min.	Max.	Min.	
Espèces marines						
Ogac	13	28	16	28	6	-1,4
Chabousseau à quatre cornes	124	28	~9	28	2	-1,4
Espèces semi-anadromes						
Cisco de lac	804	25	0	> 16	0	-1,25
Ombre de fontaine	33	16	0	> 16	0	-0,8
Grand corégone	529	16	0	> 16	0	-0,8
Lotte	215	16	0	(3)	0	-0,8
Ménomini rond	139	16	0	(14)	0	-0,8
Meunier rouge	2201	(12)	0	(15)	0	-0,4
Épinoche à trois épines	227	15	0	(4)	0	-0,7
Espèces dulçaquicoles						
Doré	29	~8	0	0	0	-0,4
Grand brochet	126	0	0	0	0	—
Meunier noir	190	0	0	(4)	0	—
Méné de lac	66	0	0	(4)	0	—
Total	4696					

\* Le nombre d'individus provient des pêches effectuées pour la présente étude et de celles faites durant l'été 1979 par le réseau de surveillance écologique.

À la deuxième quinzaine de décembre, la présence de ciscos en amont du point salin laisse supposer qu'il s'agissait de géniteurs demeurés en eau douce à la suite du frai à l'automne 1978. Quant aux non-géniteurs qui se trouvaient alors dans les eaux de la baie James, ils se sont en général déplacés, de la première quinzaine de janvier à la deuxième de mars, en suivant de près le mouvement du front salin vers l'amont de La Grande Rivière. En effet, pendant la période hivernale, le cisco recherche des conditions acceptables, c'est-à-dire une salinité modérée et par conséquent une température plus élevée que celle des eaux très saumâtres. On ne l'a donc pas rencontré en hiver, dans des eaux dont la salinité dépassait 25‰ et dont la température était en deça de -1,25°C. Du début de février jusqu'à la fin d'avril, on ne l'a plus capturé à la station M2,4 et de la mi-mars à la fin d'avril, à la station M7,2.

Aux deuxième quinzaines de janvier et de mars, on remarquera que les rende-

ments sont plus élevés en amont du front salin, ce qui est un indice d'une plus forte tendance à remonter le cours de La Grande Rivière. Il s'agit là d'une réaction normale du cisco à de brusques remontées salines.

Avec le retrait du front salin, en mai, les ciscos de lac sont massivement descendus vers la baie James. Malgré des incursions salines occasionnelles, les rendements de pêche indiquent que la densité du cisco dans la rivière a toujours été faible pendant l'été. En effet, cette espèce n'a contribué qu'à 3% des pêches en saison estivale tandis qu'elle représentait 36% du nombre des captures en hiver. Il n'a pas été possible de déterminer quel serait le niveau de salinité limitant la distribution estivale du cisco. Cependant, on a pu noter que presque tous ces poissons vivaient dans des eaux dont la concentration saline dépassait 16‰.

Au mois d'août, les rendements de pêche ont indiqué une redistribution du cisco, marquant la remontée des géniteurs en eau

douce pour aller frayer. Une vérification au km 37 a confirmé cette hypothèse. On peut alors attester que le comportement migratoire relié au frai était le même qu'auparavant. Il y a en outre tout lieu de croire que le frai s'est effectué normalement puisque, à cette époque, la rivière avait retrouvé un débit comparable à celui des années antérieures.

#### AMONT DE LG 1

Les analyses des 74 échantillons d'eau prélevés dans La Grande Rivière ont donné des températures variant entre 0,2 et 18°C, des concentrations en oxygène dissous supérieures à 85% de saturation, des pH entre 6,2 et 6,9 et des conductivités comprises entre 17 et 98  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les valeurs de pH et de conductivité les plus basses ont été rencontrées avant la mi-décembre et après la mi-juillet; elles s'approchaient alors des valeurs observées dans la rivière l'année précédente et dans le réservoir de LG 2 en été.

Dans l'ensemble, les valeurs mesurées à l'embouchure de la rivière Achazi sont semblables à celles rencontrées dans La Grande Rivière entre la mi-décembre et la mi-juillet. En aucun cas un paramètre physico-chimique n'a approché un seuil critique pouvant justifier une étude plus poussée des déplacements des poissons.

Entre les mois de juin et octobre, le rendement moyen de pêche a été de 0,58 poisson par heure-filet. Cette valeur se compare favorablement à celles observées aux stations M18 (km 28,8) et M20 (km 32) à la même époque.

#### SITE DE LG 1

Tel que demandé par la Direction de l'environnement, le canal de prédérivation fut modifié de sorte qu'en février, les courants avaient des vitesses inférieures à 0,12 m/s à moins de 3 mètres de la paroi nord et à moins de 5 mètres de la paroi sud. De telles vitesses auraient permis aux poissons de toutes tailles de remonter le site du rapide si les conditions étaient devenues critiques en aval. Les vitesses maximales alors enregistrées au centre du canal (0,4 m/s) n'auraient pas empêché le passage des géniteurs de la plupart des espèces. Une pêche effectuée à la mi-juin a montré que les poissons pouvaient remonter le canal tant au centre que le long des parois. De plus, après la débâcle, les plus gros rende-

ments de pêche ont été obtenus immédiatement en amont du canal (17,5 poissons par heure-filet) et en aval de ce canal (11,3 poissons par heure-filet). Ces résultats semblent montrer que beaucoup de poissons étaient passés de l'aval, région à forte concentration de poissons, vers l'amont où l'on retrouve ordinairement 30 fois moins de poissons.

Avant la coupure de la rivière, les ciscos de lac et les grands corégonos se concentraient à l'aval du premier rapide entre les mois d'août et de novembre. Des pêches en août au km 37, en aval du canal de dérivation provisoire de LG 1, montrent que ces corégonidés formaient alors 50% de la population de poissons; en octobre, cette proportion est montée jusqu'à 70%. Beaucoup de poissons semi-anadromes ont de toute évidence conservé leur comportement habituel, même en présence de telles variations de débit.

Il faut cependant noter la mort de quelques lottes dont on a retrouvé les cadavres près des travaux de LG 1. On n'a toutefois pas identifié de façon sûre la cause cette mortalité.

### Conclusion

À la lumière des résultats, il semble que le modèle réduit soit en mesure de fournir des indications fiables quant à la progression du front salin, au mélange des eaux et aux niveaux de salinité rencontrés dans la rivière. En général, le déplacement des poissons dans la rivière a coïncidé avec l'augmentation de la salinité et l'abaissement de la température de l'eau. Entre les km 37 et 117, la concentration en oxygène dissous dans l'eau de la rivière est demeurée supérieure à 85% de saturation et aucun paramètre physico-chimique n'a atteint des valeurs critiques.

Pour ce qui est du tronçon aval de la rivière, plusieurs espèces semi-anadromes ont pu tolérer une salinité élevée en hiver (cisco de lac, meunier rouge, omble de fontaine). Malgré les grandes variations de débit fluvial observées en 1979 en aval du km 37, le comportement migratoire de ces poissons est demeuré essentiellement le même. Il semblerait que les faibles températures de l'eau de la baie en hiver soient un facteur plus déterminant que la salinité pour forcer les poissons à se déplacer. Pendant toute la durée de la coupure du débit de La Grande Rivière en aval de LG 2, on n'a

enregistré aucune mortalité importante de poissons, sauf la mort d'une centaine d'épinoches à trois épines, en hiver, en aval de LG 1 et de quelques lottes au site de LG 1.

Enfin, plusieurs poissons capturés en juin montrent que le frai des grands brochets et des dorés ne s'est pas effectué normalement.

Somme toute, le bilan des observations du réseau de surveillance écologique atteste que la coupure temporaire de La Grande Rivière, telle qu'effectuée, n'aura pas eu d'effets négatifs importants sur l'équilibre écologique de la faune aquatique. Le retour à des conditions normales a permis d'écartier toute appréhension quant aux impacts à moyen terme.

### Références

- BOIVIN, R., 1979. Invasión saline dans le bief d'aval de LG 1, au début du remplissage du réservoir de LG 2: observations *in situ* (analyse et comparaison avec les enseignements des études théoriques et sur modèle réduit). — Laboratoire d'hydraulique Lasalle Ltée, 15 p.
- BOIVIN, R. & F. CLÉMENT, 1977. Estuaire de La Grande Rivière: étude sur modèle réduit. — Laboratoire d'hydraulique Lasalle Ltée, 44 p.
- BOLULLO, D. & M. LUSSIER, 1974. Remplissage du bief d'amont de LG2. — Service de l'environnement, Société d'Énergie de la Baie James, 32 p.
- CARON, O. & D. ROY, 1980. Coupure de La Grande Rivière: période critique pour la faune aquatique en aval du barrage de LG 2. — Eau du Québec, 13: 23-28.
- DESROCHES, P., 1975. Intrusion saline dans l'estuaire de la rivière La Grande suite à l'aménagement d'un complexe hydroélectrique. — Service Hydraulique, Hydro-Québec, 31 p.



Biologie de la faune  
*Wildlife biology*





## ON THE SEABIRDS OF NORTHERN HUDSON BAY<sup>1</sup>

A. J. GASTON

Canadian Wildlife Service  
Ottawa, Ontario  
K1A 0E7

### Résumé

Le nord de la baie d'Hudson et l'ouest du détroit d'Hudson abritent la troisième colonie d'oiseaux marins en importance numérique dans l'Arctique canadien. Cette colonie est composée surtout de marmettes de Brünnich. On y remarque l'absence du fulmar boréal et de la mouette tridactyle, que l'on rencontre partout ailleurs dans l'Arctique canadien. L'étude écologique de ces trois espèces donne à penser que l'insuffisance de nourriture explique l'absence des fulmars et des mouettes dans l'ouest du détroit d'Hudson et la baie d'Hudson.

L'évaluation des aires d'alimentation et du poids des oisillons au moment du premier vol laisse supposer que la population de marmettes de Brünnich du détroit de Digges est près du nombre maximum d'individus que peuvent supporter les ressources alimentaires de la région. L'absence d'autres espèces peut contribuer à faire agir plus rapidement le facteur *densité* dans la régulation de la population, lors des mortalités attribuables à d'autres causes que la densité, permettant ainsi à la population de réagir rapidement aux fluctuations de la disponibilité de nourriture.

### Abstract

The area of northern Hudson Bay and west Hudson Strait supports the third largest seabird community in the Canadian Arctic, dominated by the thick-billed murre. The northern fulmar and the black-legged kittiwake, common elsewhere in arctic Canada, are absent here. Comparisons of the ecology of these three species elsewhere suggest that lack of suitable concentrations of food in west Hudson Strait and Hudson Bay accounts for the absence of fulmars and kittiwakes.

Evidence from foraging ranges and the weight of chicks at fledging suggests that the population of thick-billed murre at Digges Sound is close to the limit of its food resources. Absence of competitors may enable density-dependent population regulation to respond more quickly to periodic density-independent mortality, hence allowing the population to respond rapidly to variations in the level of its food supplies.

### Introduction

Approximately 4½ million pairs of seabirds (excluding dovekeys) breed on the east coast of Canada and in West Greenland, and of these about 75% breed north of 60° (Brown *et al.*, 1975). Their dispersal over northern waters during the breeding season is far from uniform and aggregations can be considered on two levels: firstly, the majority of species breed in colonies of as many as 250,000 pairs; secondly, these colonies tend to be clustered in such a way that we can define several distinct seabird foci in arctic Canada (Fig. 1), separated by areas supporting relatively few seabirds. The west Hudson Strait area, which embraces the

northern part of Hudson Bay, ranks third in importance, in terms of total numbers.

Species diversity is fairly uniform among the areas, with 7-9 species occurring except in northeast Baffin Island, where only five species occur, and central West Greenland with eleven species. The relative abundance of different species varies. The seabird communities of the two Hudson Strait areas are totally dominated by a single species, the thick-billed murre (*Uria lomvia*) (Table I). In contrast, the relative abundance of species in the Lancaster Sound/Jones Sound area is more even, although the thick-billed murre remains the most numerous. Abundance among species in both areas, however, is much less evenly distributed than in boreal seabird communities, such as that of Norway (Fig. 2).

<sup>1</sup> Contribution no. 112 to the series *Studies on northern seabirds*, Canadian Wildlife Service.

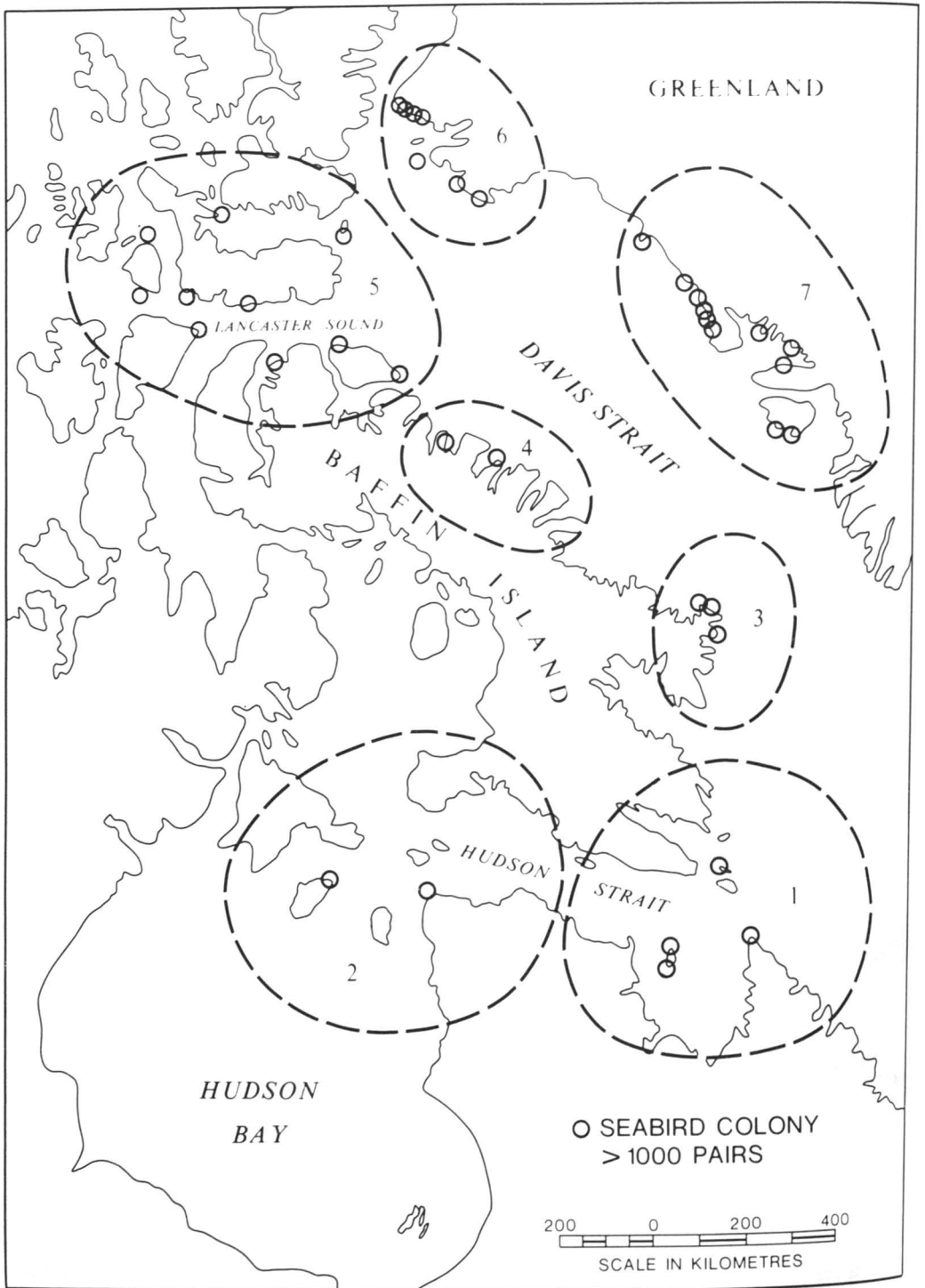


Figure 1. Position of major seabird colonies and provinces in the eastern Canadian Arctic and West Greenland.

The striking departure exhibited by the west Hudson Strait seabird community from the lognormal distribution of abundance that is found for most animal communities (Preston, 1948, 1962) resembles distributions typical of pioneer communities of plants (Bazzaz, 1975), or communities living in severe environments, where dominance is strongly developed (Whittaker, 1970). This supposes, of course, that the assemblage of birds that we have chosen to categorize as seabirds does constitute a community in some sense. This assumption seems justified because all of the species listed in Table I

do interact with one another, either as predator and prey, or as competitors for the same food resources or nesting sites, to a greater extent than they interact with other bird species.

The dominance of thick-billed murres over the seabird community of west Hudson Strait extends to the post-breeding season. Distributions of seabirds in Canadian Arctic waters in September reflect a widespread dispersal away from breeding colonies (Brown *et al.*, 1975). Large numbers of fulmars and kittiwakes move into the east

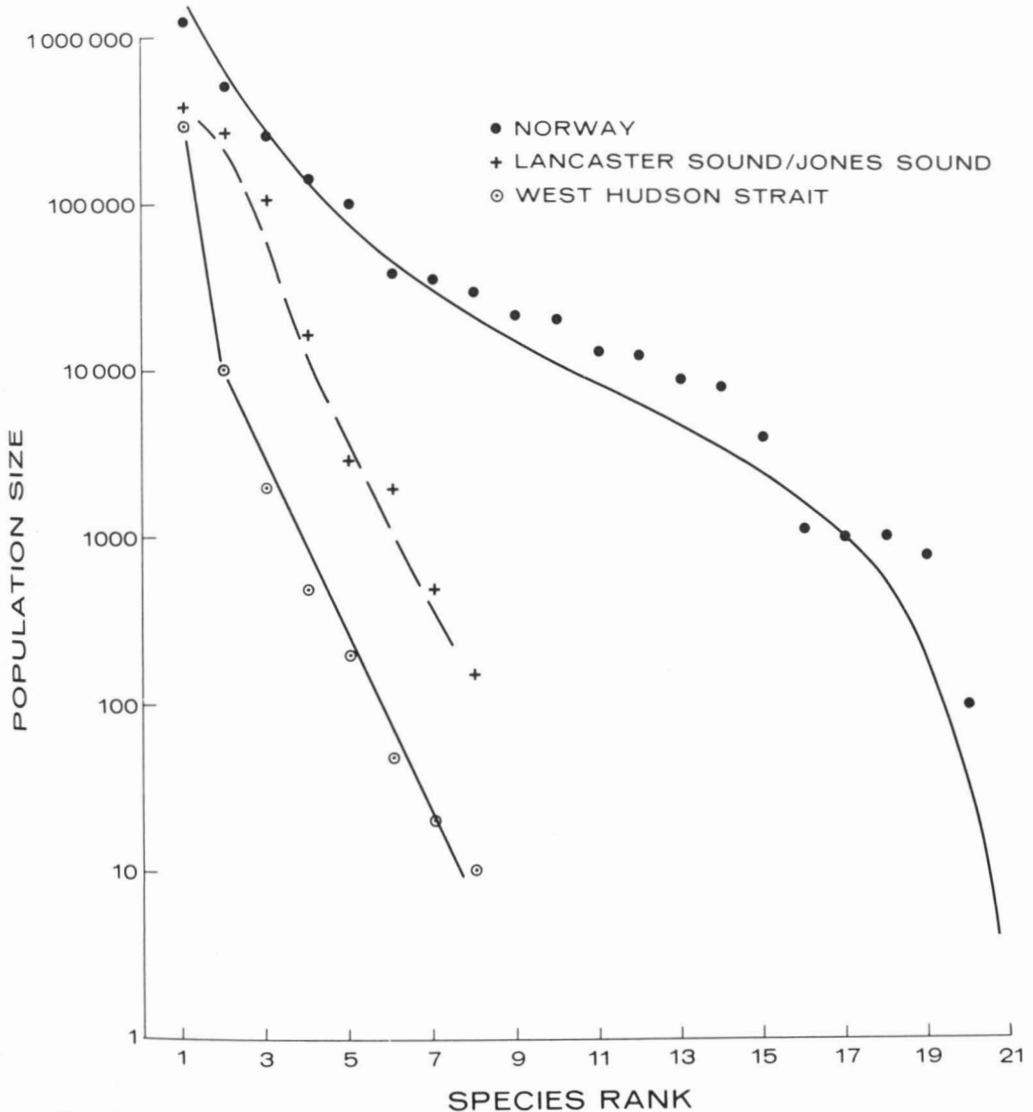


Figure 2. The distribution of abundance among seabird species of three communities: west Hudson Strait (this study), Lancaster Sound/Jones Sound (from Gaston & Nettleship, 1981), and Norway (from Brun, 1979). Curves are drawn by eye.

TABLE I  
Seabird populations of seven "provinces" of the eastern Canadian Arctic and West Greenland.  
[Figures are from Brown *et al.*, (1975) except where specified]

	Province						
	Hudson Strait		Baffin Island		Lancaster Sound/ Jones Sound <sup>2</sup>	Greenland	
	East	West <sup>1</sup>	East	Northeast		Northwest	Central-west
Number in Figure 1	1	2	3	4	5	6	7
Numbers of pairs (1000's)							
Northern fulmar			112	50	275	10	180
Great cormorant							1
Glaucous gull	3	1	(1) <sup>3</sup>	(2)	3	(1)	(1)
Kumlien's/Thayers/Iceland gull	3	2	(1)	(1)	< 1	< 1	(5)
Greater black-backed gull							1
Herring gull	1	< 1					
Ivory gull					< 1		
Black-legged kittiwake	4		< 1		103	< 1	(20)
Arctic tern	1	< 1	1	1	2	(1)	(5)
Razorbill	< 1	< 1					
Thick-billed murre <sup>4</sup>	300	315	200		406	160	876
Dovekie						(30,000)	5
Black guillemot	5	10	(1)	(1)	17	(5)	(5)
Puffin		< 1				1	(10)
Total	367	328	316	55	806	30,183	1,109
Number of species	8	8	7	5	8	9	11

<sup>1</sup> Figures for west Hudson Strait are preliminary estimates from unpublished Canadian Wildlife Service surveys.

<sup>2</sup> Figures for Lancaster Sound/Jones Sound are from Gaston & Nettleship (1981).

<sup>3</sup> Figures in brackets constitute educated guesses; for Greenland.

<sup>4</sup> Figures for thick-billed murre in all provinces from Gaston (1980).

Hudson Strait area at this period but only small numbers penetrate west of Ungava Bay (Figs. 3a, b), at a time when thick-billed murrees are widespread throughout Hudson Strait.

The structure of the west Hudson Strait seabird community poses two interesting questions: (1) Why is the thick-billed murre comparatively more abundant here than elsewhere in arctic waters? (2) What implications does this dominance have for the stability of the thick-billed murre population?

## Data

To examine these questions, I have drawn on data from a number of sources. 1) Data on population number are derived from Brown *et al.* (1975) but have been extensively updated by Canadian Wildlife Service surveys during the past six years which have relied on ground and photographic counts of colonies during the middle of the breeding season. Population numbers are probably reliable to within  $\pm 50\%$  for all colonial species. Dispersed breeders, particularly black guillemots, *Cephus grylle*, are more difficult to estimate and the error here may be larger. 2) Data on diets derive from studies of thick-billed murrees, black guillemots, black-legged kittiwakes and northern fulmars carried out at Prince Leopold Island during 1975-1977 involving analysis of digestive tracts or regurgitations of more than 100 birds of each species sampled throughout the summer, plus the collection of food delivered to more than 50 chicks. Additional information comes from studies on the same species in Lancaster Sound by LGL Ltd. in 1976 and 1978-1979 (Bradstreet, 1976, 1980). Information on the diet of thick-billed murrees and black guillemots in west Hudson Strait comes from the analysis of meals delivered to chicks at Digges Sound (murrees) and Nuvuk Islands (guillemots). 3) Information on the distribution of seabirds at sea in Hudson Strait derives from aerial surveys carried out by Canadian Wildlife Service in September 1980. A total of 22 hours observations were made over five days between 3-19 September using a De Havilland Twin Otter aircraft flying at 50 m altitude. All birds seen within 200 m on either side of the line of flight were recorded and located by 2-minute intervals for observation. Conditions were ideal throughout most of the survey. The period of the survey corresponds with the period of dispersal of all species from their breeding

colonies. At this time we can assume that the position of colony sites has relatively little influence on the dispersion and distribution of the birds. It probably coincides with the period of maximum use of Hudson Strait by fulmars and kittiwakes (Brown *et al.*, 1975). To compare the dispersion of murrees, kittiwakes and fulmars, I have used only data from surveys carried out in east Hudson Strait on 19 September as this included the area in which kittiwakes and fulmars were most abundant.

## Discussion

### RELATIVE ABUNDANCE OF THICK-BILLED MURREES

The observed distribution of relative abundance in west Hudson Strait follows the geometric model derived from the hypothesis that each successive species invading the area pre-empts a given fraction of the total productivity (Whittaker, 1970; May, 1976). This assumes that later species are excluded from resources by earlier arrivals. In practical terms, the community in west Hudson Strait lacks two species important elsewhere, northern fulmar (*Fulmarus glacialis*) and black-legged kittiwake (*Rissa tridactyla*). Could the absence of these species be the result of competitive exclusion?

Studies by Bradstreet (1980, and unpublished) in the Lancaster Sound/Jones Sound area revealed a broad overlap between the diets of adult thick-billed murrees, northern fulmars and black-legged kittiwakes. Similar results were obtained by Gaston & Nettleship (1981) for food fed to chicks, the major prey species being, in all cases, the arctic cod (*Boreogadus saida*) (Fig. 4). The black guillemot, which coexists with the thick-billed murrees in west Hudson Strait, feeds its chicks on entirely different prey (Gaston & Nettleship, 1981; Cairns, unpublished data), although there is a broad overlap in adult diets (Bradstreet, 1980).

It is tempting to regard the overlaps in diet as evidence that competitive exclusion might be occurring in Hudson Strait but comparison of the thick-billed murre chicks diets in Lancaster Sound and Hudson Strait makes this appear unlikely. Thick-billed murrees have a much more diversified diet in Hudson Strait than all species combined in Lancaster Sound, indicating a more varied range of prey species (Fig. 4). In normal circumstances we should expect a greater

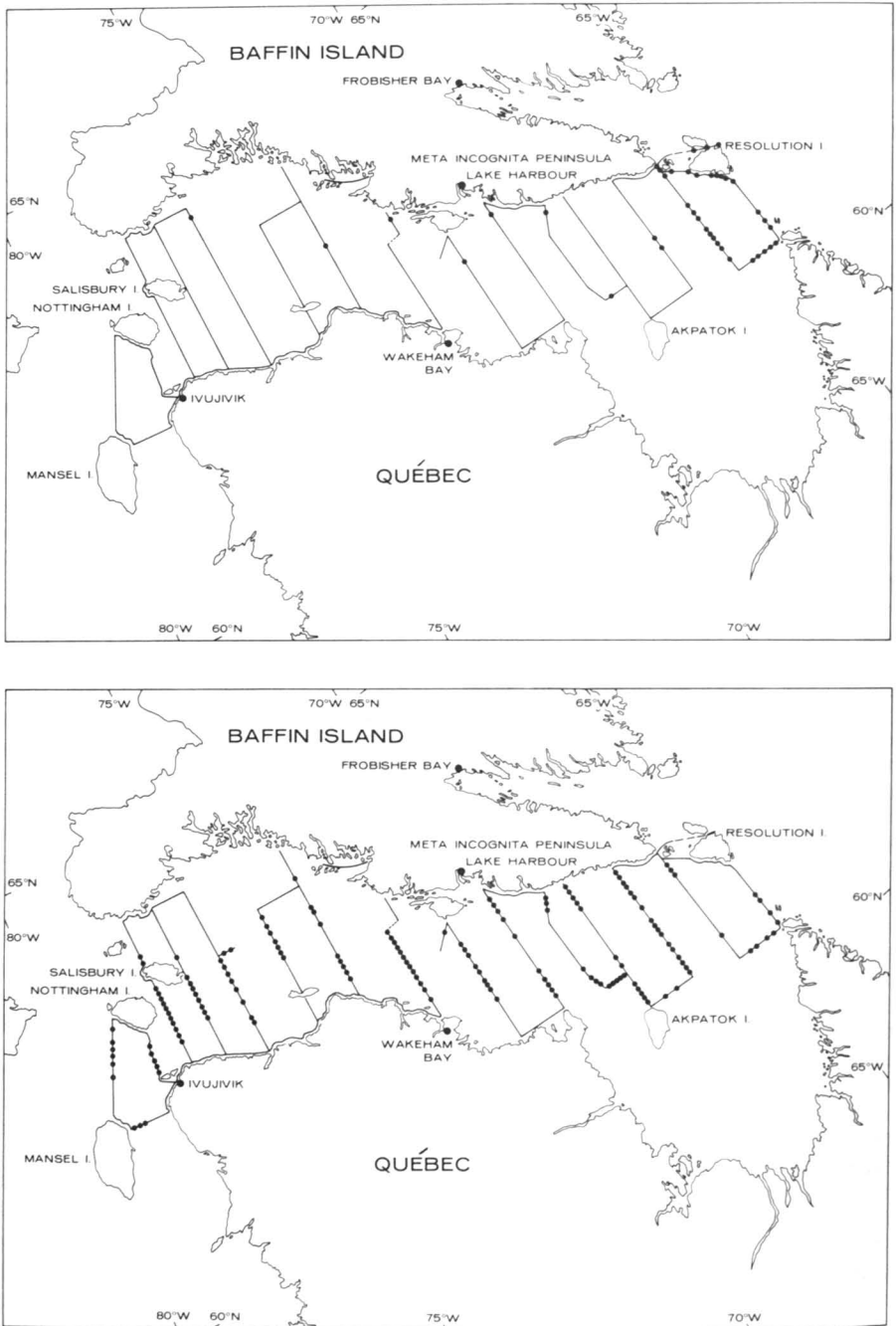


Figure 3. Distribution of northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) (Top) and thick-billed murres (*Uria lomvia*) (Bottom) recorded on aerial surveys in Hudson Strait during September 1980 (procedures followed Nettleship & Gaston, 1978). Black lines show transect routes. Each dot represents a 2-minute period in which the species was observed.

diversity of predators where there is a greater diversity of prey (Colinvaux, 1973; Hespeneheide, 1975). Chick diet at Akpatok Island (east Hudson Strait) is also more diverse than in Lancaster Sound (Tuck & Squires, 1955). If the murres cannot exclude fulmars and kittiwakes in an area of low diversity such as Lancaster Sound, then it seems unlikely that they do so in Hudson Strait, where prey species appear to be more diverse.

A variety of other explanations might account for the absence of fulmars and kittiwakes from Hudson Strait: 1) absence of suitable breeding sites, 2) historical accidents affecting distribution, 3) unsuitability of the marine habitat.

The first explanation seems untenable because elsewhere fulmars and kittiwakes nest in association with thick-billed murres on sites similar to those available at Digges Sound and at Cape Pembroke, Coats Island, within the west Hudson Strait area. The second explanation also appears unlikely, because elsewhere in the North Atlantic, fulmars and kittiwakes have shown them-

selves to be aggressive colonists, readily establishing new colonies (Fisher, 1952; Cramp *et al.*, 1974). In the case of the Lancaster Sound/Jones Sound area, small, ephemeral colonies of kittiwakes may be established almost yearly (LGL Ltd., unpublished data; CWS, unpublished data). Northern fulmars have recently begun to colonize Newfoundland and Labrador (Nettleship & Montgomerie, 1974; Montevecchi *et al.*, 1978).

The third explanation bears examining in some detail. The marine waters of west Hudson Strait clearly provide suitable habitat for thick-billed murres. Are there any features which distinguish the requirements of the murres from those of fulmars and kittiwakes?

Two features of the distributions of these three species seem relevant. Firstly, fulmars and kittiwakes on Lancaster Sound are more closely associated with coastal waters than thick-billed murres, which are more often found far offshore (Nettleship & Gaston, 1978; Johnson *et al.*, unpublished data). Secondly, the dispersion of fulmars and kittiwakes at sea is more clumped than that of murres, averaging fifty times and twenty times, respectively, the density of the more evenly dispersed murres (Table II). Similar results were obtained in Lancaster Sound (Nettleship & Gaston, 1978).

The dispersion of northern fulmars and black-legged kittiwakes suggests that they concentrate on locally abundant sources of food. Brown (1980a, b) has suggested that such species may require densities of food one or two orders of magnitude above the regional average in order to make feeding profitable. Such concentrations may be created by shorelines, current convergences, tidal mechanisms, or other oceanographic phenomena. If such features are rare or absent in the west Hudson Strait area, this might explain the lack of fulmars and kittiwakes in conditions which provide sufficient food to support a large population of murres. A fuller understanding of this paradox is unlikely until we know much more about the oceanography of the area.

#### STABILITY OF THE THICK-BILLED MURRE POPULATION

The absence of any effective avian competitors means that, if the population is regulated during the breeding season (Ashmole, 1963; Diamond, 1978), interspecific competition must play only a small part in such regulation. This should allow

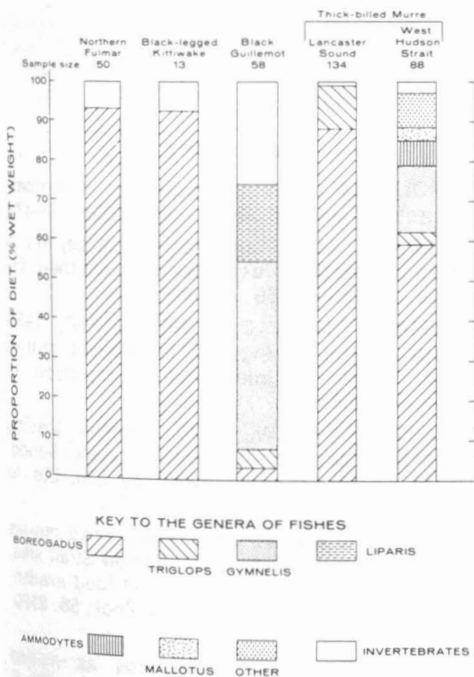


Figure 4. Composition of chick diets for four species of seabirds at Prince Leopold Island (Lancaster Sound/Jones Sound, from Gaston & Nettleship, 1981) and for the thick-billed murre at Digges Island (west Hudson Strait).



TABLE II

Dispersion of thick-billed murres, northern fulmars and black-legged kittiwakes in eastern Hudson Strait on aerial surveys conducted on 19 September 1980. (Counts were recorded by two-minute periods)

	<i>Thick-billed murre</i>	<i>Northern fulmar</i>	<i>Black-legged kittiwake</i>
Proportion of 2-min periods in which recorded (%; $N = 46$ )	40.4	28.1	10.3
Mean number recorded per 2-min period	0.9	33.3	4.3
Mean number recorded in periods when at least one was seen	2.2	118.5	41.9

a population reduced by periodic density-independent effects to respond quickly, without the possibility that a competitor will pre-empt a greater fraction of overall resources during the period when the population is depressed. We might expect, therefore, that the thick-billed murre population of west Hudson Strait would exist in a state close to the limits of available resources. Some indirect evidence points to this conclusion: 1) The colony at Digges Sound is the largest in the Canadian Arctic (Gaston, 1980), despite there being no evidence that this is a peculiarly rich marine area. 2) Observations by Brown (1980a) in 1975 showed that birds clearly flying towards or away from Digges Sound occurred at distances of up to 160 km from the colony. This is close to the theoretical limit calculated by Gaston & Nettleship (1981) on the basis of time spent travelling between the colony and the feeding area. 3) The mean weight of chicks from the Digges Sound colony at fledging was between 140-150 g in 1979 and 1980, compared with annual means ranging from 180-230 g for colonies in the Lancaster Sound/Jones Sound province (Gaston & Nettleship, 1981; Birkhead & Nettleship, 1981). Initial weights were similar in all cases. This seems to confirm the evidence from foraging ranges that parents experience difficulty in providing sufficient food for their chicks, indicating that the population is close to the limit of available food.

The extent to which the population at Digges Sound is actually being controlled by the availability of food can only be determined by long term comparisons between breeding success and recruitment, but it seems unlikely that the population could expand much beyond its present size due to the constraints discussed. The ability of the

population to exist in this state may be enhanced by the absence of significant competition from other marine birds. The low species diversity of the seabird community may therefore contribute to increase population stability, an effect indicated by recent community modelling (May, 1976; Pimm, 1979).

#### Acknowledgments

Graham Cooch, Hugh Boyd and Dick Brown contributed comments on earlier drafts of this paper. Steve Johnson, Mike Bradstreet and David Cairns kindly allowed me to quote from their unpublished work.

#### References

- ASHMOLE, N.P., 1963. The regulation of numbers of tropical oceanic birds. — *Ibis*, 103b: 458-473
- BAZZAZ, F.A., 1975. Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois. — *Ecology*, 56: 485-488.
- BIRKHEAD, T.R. & D.N. NETTLESHIP, 1981. Reproductive biology of thick-billed murres *Uria lomvia*, an inter-colony comparison. — *Auk*, 98: 258-269.
- BRADSTREET, M.S.W., 1976. Summer feeding ecology of seabirds in eastern Lancaster Sound, 1976. — Unpublished report by LGL Ltd. to Norlands Petroleum, Calgary, 187 p.
- BRADSTREET, M.S.W., 1980. Thick-billed murres and black guillemots in the Barrow Strait area. N.W.T., during spring: diets and food availability along ice edges. — *Can. J. Zool.*, 58: 2120-2140.
- BROWN, R.G.B., 1980a. Seabirds as marine animals. — Pages 1-39 in J. Burger, B.L. Olla & H. Winn (eds.), *Behavior of marine animals*, vol. 4, Plenum Publishing, New York, 515 p.
- BROWN, R.G.B., 1980b. The pelagic ecology of seabirds. — *Trans. Linn. Soc., N.Y.*, 9: 15-22.

- BROWN, R.G.B., D.N. NETTLESHIP, P. GERMAIN, C.E. TULL & T. DAVIS, 1975. Atlas of eastern Canadian seabirds. — Canadian Wildlife Service, Ottawa, 220 p.
- BRUN, E., 1979. Present status and trends in population of seabirds in Norway. — Pages 289-301 in J.C. Bartonek & D.N. Nettleship (eds.). Conservation of marine birds of northern North America. U.S. Fish and Wildlife Service, Wildlife Research Report no. 11, 319 p.
- COLINVAUX, P.A., 1973. Introduction to ecology. — Wiley International, New York, 621 p.
- CRAMP, S., W.R.P. BOURNE & D. SAUNDERS, 1974. The seabirds of Britain and Ireland. — Collins, London, 287 p.
- DIAMOND, A.W., 1978. Feeding strategies and population size in tropical seabirds. — Am. Nat., 112: 215-223.
- FISHER, J., 1952. The fulmar. — Collins, London, 496 p.
- GASTON, A.J., 1980. Populations, movements and wintering areas of thick-billed murre (*Uria lomvia*) in eastern Canada. — Can. Wildl. Serv., Progress Note no. 110, 10 p.
- GASTON, A.J. & D.N. NETTLESHIP, 1981. The thick-billed murre of Prince Leopold Island. — Can. Wildl. Serv., Monogr., 6, 350 p.
- HESPENHEIDE, N.A., 1975. Prey characteristics and predator niche width. — Pages 159-180 in M.L. Cody & J.M. Diamond (eds.). Ecology and evolution of communities. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 454 p.
- JOHNSON, S.R., W.E. RENAUD, W.J. RICHARDSON, R.A. DAVIS, C. HOLDSWORTH & P.D. HOLLINGDALE, 1976. Aerial surveys of birds in eastern Lancaster Sound, 1976. — Unpublished report by LGL Ltd. to Norlands Petroleum, Calgary, 365 p.
- MAY, R.M., 1976. Patterns in multi-species communities. — Pages 142-162 in R.M. May (ed.). Theoretical ecology. Blackwell, Oxford, 317 p.
- MONTEVECCHI, W.A., E. BLUNDON, G. COOMBES, J. PORTER & P. RICE, 1978. Northern fulmar breeding range extended to Baccalieu Island, Newfoundland. — Can. Fid Nat., 92: 80-82.
- NETTLESHIP, D.N. & A.J. GASTON, 1978. Patterns of pelagic distribution of seabirds in western Lancaster Sound and Barrow Strait, N.W.T. — Can. Wildl. Serv., Occ. Paper, no. 29, 40 p.
- NETTLESHIP, D.N. & R.D. MONTGOMERIE, 1974. The northern fulmar, *Fulmarus glacialis*, breeding in Newfoundland. — Am. Birds, 28: 16.
- PIMM, S.L., 1979. Complexity and stability: another look at MacArthur's original hypothesis. — Oikos, 33: 351-357.
- PRESTON, F.W., 1948. The commonness, and rarity of species. — Ecology, 29: 254-283.
- PRESTON, F.W., 1962. The canonical distribution of commonness and rarity, Parts I and II. — Ecology, 43: 185-215, 410-432.
- TUCK, L.M. & H.J. SQUIRES, 1955. Food and feeding habits of Brünnich's murre (*Uria lomvia lomvia*) on Akpatok Island. — J. Fish. Res. Bd Can., 12: 781-792.
- WHITTAKER, R.H., 1970. Communities and ecosystems. — Macmillan, New York, 162 p.



## LESSER SNOW GEESE AND THEIR HABITAT ON WEST HUDSON BAY

R. H. KERBES

Canadian Wildlife Service  
Saskatoon, Saskatchewan S7N 0X4

### Résumé

Un grand nombre de petites oies blanches (*Anser caerulescens caerulescens*) se reproduisent sur une plaine côtière d'environ 5 000 km<sup>2</sup> à l'ouest de la baie d'Hudson, près d'Eskimo Point, T.N.O.. Des recensements photographiques aériens des oiseaux nicheurs démontrent une diminution constante de 195 000 couples en 1973 à 131 000 en 1980. Les recensements de 1977, 1978, et 1980 démontrent un agrandissement du territoire d'été. Le broutage total de la végétation est la cause probable de ce changement, quoique les sécheresses de 1977 et 1980, la fonte tardive des neiges de l'aire de nidification en 1978, et le choléra avien de l'été 1979 sont aussi en cause. Il semble que l'accroissement rapide de la population avant 1973 a conduit à l'utilisation à outrance de la nourriture préférée, le *Carex*. Les oies se sont donc dispersées à l'intérieur des terres, où la nourriture est moins appropriée. On discute de l'aménagement de cette population.

### Abstract

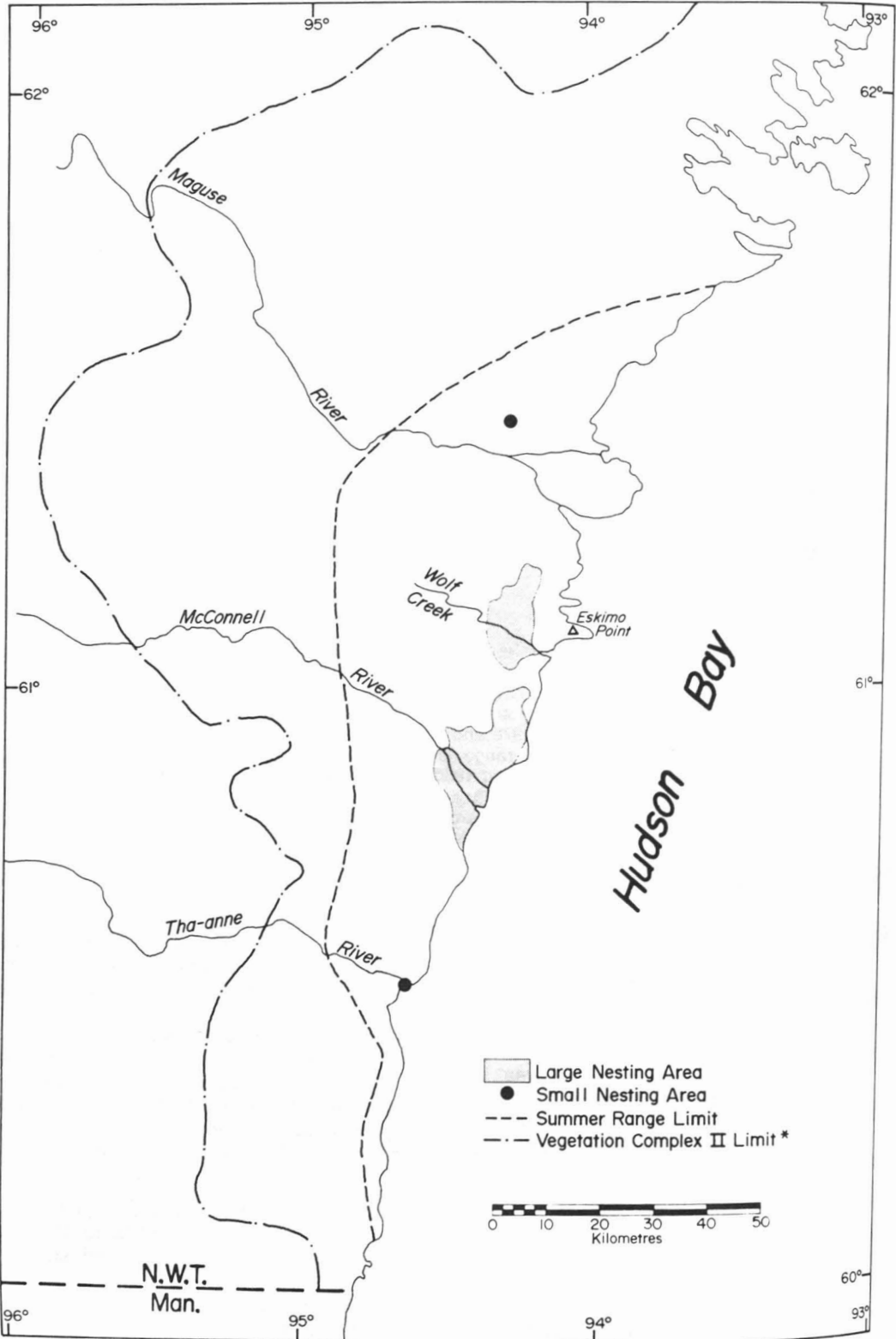
A large subpopulation of lesser snow geese (*Anser caerulescens caerulescens*) breeds on a coastal plain of approximately 5,000 km<sup>2</sup> on west Hudson Bay in the vicinity of Eskimo Point, N.W.T. Inventories of the nesting birds with aerial photography showed a continuous decline from 195,000 pairs in 1973 to 131,000 in 1980. Aerial surveys in 1977, 1978 and 1980 showed inland expansion of summer range. Over-grazing of summer range is the probable cause of those changes, although prairie drought in 1977 and 1980, adverse spring weather with late snow-cover on the nesting grounds in 1978, and avian cholera in summer 1979 also are implicated. Apparently, a rapid increase in population prior to 1973 led to over-grazing of preferred coastal sedge habitats. Consequently, the geese spread to more inland habitats which are considered less desirable for summer feeding. Management implications are discussed.

### Introduction

In 1973, almost 200,000 pairs of lesser snow geese (*Anser caerulescens caerulescens*), some 40% of the eastern Arctic population, nested in colonies on west Hudson Bay (Kerbes, 1975). That area is a low arctic coastal plain, almost 200 km long, roughly centered on the village of Eskimo Point, N.W.T. (Fig. 1). Biological investigations of the geese were carried out in 1954, 1959, and 1961 by Cooch (1963). Hanson *et al.* (1972) conducted aerial surveys each summer from 1964 to 1970. Over the decade, 1964 to 1975, a series of detailed ground studies was done on the snow geese and their habitat at McConnell River (Harvey, 1971; Lief, 1973; Ankney & Bisset, 1976; Harwood, 1977; Ankney & MacInnes, 1978;

Prevett & MacInnes, 1980). Kerbes (1975) used aerial photography to determine the numbers and distribution of nesting birds in 1973. A large-scale co-operative snow goose banding program was undertaken on west Hudson Bay in 1977 and 1978. As part of that program, I surveyed the number and distribution of nesting birds in June and of all birds in summer. In 1980, I resumed those surveys and did a preliminary study of the summer habitat.

Objectives of this paper are to present my population results for 1973 to 1980, to review the status of nesting and summer habitat of the geese, and to discuss those points in relation to current management concerns for the population and its habitat on west Hudson Bay.



## Methods

### JUNE NESTING SURVEYS

Methods were similar to those used by Kerbes (1975). The nesting colonies were photographed in June, approximately mid-way through the incubation period. Vertical large format (23 cm) aerial photographs were obtained with a 15.2 cm lens and Kodak 2402 Plus X film. Images of the geese were counted visually from the original negatives on a light table using a transparent grid underlay and a Wild M7 binocular microscope. Birds distributed in pairs or single on the ground were classified as nesting, birds in flight or in flocks as non-breeders. White phase birds were counted from scale 1:5,000 photographs. Total number of nesting birds on a given colony was estimated statistically from sample counts. The amount of sampling depended on the available air photo cover and the size and complexity of the colony. Samples of white and blue birds, for calculation of colour ratios, were counted from scale 1:2,000 photographs.

### SUMMER (JULY-AUGUST) POPULATION SURVEYS

In 1977 and 1980 the surveys were based on visual transect counts taken from a small aircraft flying at 145 km/h and 122 m above ground level. An observer on each side of the aircraft recorded all white birds within a ground strip 250 m wide. Transects were flown perpendicular to the coast, systematically sampling the total area occupied by the moulting (flightless) flocks of geese. The transect sample covered approximately 10% of the total area.

In 1978 the survey was based on large format aerial photography, obtained and analysed as in the June nesting survey. Photographs, at scale 1:2,000, were obtained in a series of lines parallel to the coast. White phase birds in adult plumage were counted from photographs covering a sample of approximately 10% of the total area.

## Results and discussion

### NUMBERS AND DISTRIBUTION OF NESTING BIRDS

From a peak of 195,000 in 1973, the total nesting population declined each successive

year it was counted (Table I). The 1980 total, 131,400 nesting pairs, was only 67% of the 1973 total. The locations and surface areas of the colonies (Fig. 1, Table I) were fairly consistent, except for variations noted below. The colour ratio of the colonies varied from 20 to 24% blue phase, with no statistically significant differences between years or colonies.

Hanson *et al.* (1972) and Kerbes (1975) described the colonies and reviewed their history up to 1973. Changes in numbers and distribution for each of the colonies since then were as follows:

*Tha-anne River colony* is concentrated on three small islands in the mouth of the river. Its numbers have fluctuated around 2,000 pairs. The yearly variation may relate to availability of habitat in spring, depending on the melt of snow and of *aufeis*, or ice accumulating on and around the islands during the winter (Hanson *et al.*, 1972).

*South McConnell colony* is the most diffuse of the colonies, extending along the coast between the Tha-anne and McConnell colonies. Its numbers have been close to 6,000 pairs, with an increase to almost 9,000 pairs in 1980.

*McConnell River colony*, the largest of the west Hudson Bay colonies, declined from 163,000 pairs in 1973 to 92,000 in 1980. Its proportion of the region's total nesting geese varied from approximately 80% in 1973 and 1977, to 92% in 1978, to only 70% in 1980. The decrease (40%) in numbers between 1978 and 1980 was accompanied by a large increase (34%) in total nesting area. The 1978 area was, however, some 17% smaller than the area in 1973 and 1977, due to a late spring and restrictive snow cover in 1978. Spring in 1980 was the earliest on record, with snow clearance almost a month before the geese nested. Unlimited availability of nesting habitat was probably an important factor in the dispersal of 1980.

*Wolf Creek colony*, second largest on west Hudson Bay, originated about 1965 and reached its 1973 size by about 1970 (G. Alikut, pers. comm.). It has shown a consistent size, approximately 24,000 pairs, except for 1978 when the late spring, noted above, greatly limited its available nesting area.

Figure 1. West Hudson Bay region, showing the location of nesting colonies in June, 1973-1980, and the summer (July-August) 1977-1980 range of lesser snow geese.\* Also shown is the Vegetation Complex II boundary mapped by Thompson *et al.* (1980).

TABLE I

Size of the lesser snow goose colonies on west Hudson Bay, NWT, 1973-1980, as determined by aerial photography in June

Colony	Total no. nesting pairs ( $\pm 2$ s.e.)				Total nesting area (km <sup>2</sup> ) (% analysed on photos)			
	1973*	1977	1978	1980	1973*	1977	1978	1980
Tha-anne River	3,200	1,500	2,100	1,400	1.1 (22)	1.1 (100)	1.1 (100)	1.1 (100)
S. McConnell	5,900	5,000	5,800	8,800	90.0 (67)	90.0 (18)	90.0 (26)	90.0 (14)
McConnell River	163,000 ( $\pm 29,100$ )	142,300 ( $\pm 13,300$ )	153,200 ( $\pm 16,500$ )	92,200 ( $\pm 8,300$ )	249.4 (72)	245.4 (29)	205.4 (32)	275.9 (17)
Wolf Creek	22,500 ( $\pm 3,600$ )	27,500 ( $\pm 2,600$ )	4,500 ( $\pm 1,400$ )	23,700 ( $\pm 3,500$ )	60.1 (62)	101.4 (52)	34.8 (42)	104.0 (25)
Maguse River	500	300	300	5,300	10.6 (49)	9.0 (25)	10.0 (10)	76.0 (40)
Total	195,100 ( $\pm 29,300$ )	176,600 ( $\pm 13,600$ )	165,900 ( $\pm 16,600$ )	131,400 ( $\pm 9,000$ )	411.2	446.9	341.3	547.0

\* From Kerbes (1975).

*Maguse River* was the smallest colony, with only 500-300 pairs from 1973 to 1978. In 1973 it consisted of two nesting areas, one as shown in Figure 1 and one about 20 km to the southeast, on Austin Island. The Austin Island area has not been occupied since. In 1980 the colony showed an 18-fold increase in total nests and an 8-fold increase in total area (extending the colony northeast of the area shown in Fig. 1). The record early spring in 1980 may have stimulated that dramatic increase in numbers and area.

#### CAUSES OF THE DECLINE IN NESTING BIRDS

Local Inuit were aware of small colonies of snow geese at McConnell, Tha-anne, and Maguse rivers as long ago as 1910 (T. Siatala, pers. comm.). MacInnes *et al.* (1975) produced a hypothetical growth curve of the McConnell River colony by estimating population points from historical information. The population rose almost geometrically, beginning in the early 1960's, to peak in 1973, the first year with an accurate count based on analysis of aerial photographs (Kerbes, 1975). Lief (1973) found evidence of over-gazing by snow geese at the mouth of McConnell River. MacInnes *et al.* (1975) predicted that the geese would suffer a decline due to over-population with consequent over-grazing of summer feeding habitat. That prediction was verified by the decline which I have documented from 1973

to 1980, but it has not been proven if over-grazing was the major cause of the decline. Also, my data refer to total nesting birds only, with no estimate of the proportion of additional adult-plumaged birds which were failed-breeders or non-breeders. Since that proportion can vary among years, the decline in nesting birds could be caused by an increasing proportion of non-breeders in the population. In either case, the result has been fewer nesting birds on west Hudson Bay. Before considering summer habitat and possible over-grazing, other potential causes of the decline will be examined, namely prairie drought, late springs, and disease.

*Prairie drought* on the spring migration staging grounds in southern Manitoba and the northern prairie states was linked to nesting population declines of the La Pérouse Bay snow goose colony in 1977 and 1980 (F. Cooke and C. Davis, pers. comm.). Since snow geese from west Hudson Bay follow a similar spring route, their declines in those years also may have been caused by the prairie drought. During the prairie stop-overs the migrant geese feed on early plant growth in agricultural areas to build energy reserves for continuing their migration north and for nesting in the Arctic. If drought had reduced the usual availability of that food, the geese may have been in

poorer physical condition and fewer of them may have nested.

The late spring in 1978 and its probable effect on the McConnell River and Wolf Creek colonies have been noted above. Satellite imagery, confirmed through ground observations by G. Beyersbergen (pers. comm.), showed that the "snow line" fell between the two colonies during the critical nest initiation period. The nesting area at McConnell River was reduced, but the geese were able to compensate by increasing their density within the available area. The available nesting habitat at Wolf Creek, however, was restricted both in total area and in available sites within that area. Consequently, Wolf Creek colony was reduced in area, numbers, and density.

Avian cholera is an infectious disease of birds caused by the bacterium *Pasteurella multocida*. Outbreaks of this disease have caused significant losses of snow geese on the wintering grounds and migration staging areas (Wobeser *et al.*, 1979). In summer 1979 it was confirmed, for the first time, to have occurred on the Arctic breeding grounds, on west Hudson Bay (G. Wobeser, pers. comm.). Information provided by the Northwest Territories Wildlife Service and by Inuit hunters from Eskimo Point indicated that dead birds were scattered throughout the west Hudson Bay area. Only two concentrations of dead birds were found, both in the Maguse River area, one of about 500 individuals and one of about 150 (R. Decker, C. Gates, pers. comm.). Therefore, there was no accurate estimate of total losses, but possibly enough adults died in 1979 to have caused at least part of the drop in nesting birds in 1980.

#### NUMBERS AND DISTRIBUTION IN SUMMER

From their annual coastal flights, Hanson *et al.* (1972) noted that moulting and feeding snow geese on west Hudson Bay from 1964 to 1970 were found along the coast from near the mouth of Tha-anne River to the Maguse River. Lieff (1973) found that the geese were feeding within 15 km of the coast at McConnell River during that period. Kerbes (1975) mapped the summer habitat, which he called sedge lowland, from Landsat satellite imagery. It extended for 130 km along the coast in a belt from 6 to 18 km wide, much as described by Hanson *et al.* (1972) and Lieff (1973). My quantitative surveys in the summers of 1977, 1978, and

1980 showed that the geese used a much bigger area than the 1,100 km<sup>2</sup> of sedge lowland mapped by Kerbes (1975). The summer range from 1977 to 1980 was approximately 5,000 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Apparently, the snow geese are using habitats which are less desirable compared to their traditional summer habitat on the sedge lowland. Population pressure and over-grazing may have adversely affected the sedge lowland, causing the geese to move inland, therefore occupying a much larger area with lower goose density.

Although the main purpose of the 1977, 1978 and 1980 surveys was to determine the range and density pattern of the geese, I also estimated total summer populations from the count data. When those estimates are compared to the summer populations extrapolated from the June counts of nesting birds (Kerbes, unpubl.), a remarkably similar discrepancy appeared in all three years. The "observed" estimate in each year was only some 70% of the "expected" estimate. Assuming that the summer surveys were accurate, the unexpectedly low summer populations could be due to moult migration. Moult migration has been described for many waterfowl (Salomonsen, 1968), including snow geese (Abraham, 1980).

Many non-productive adults (failed-breeders and non-breeders) could have migrated from west Hudson Bay prior to the summer moult, presumably to areas with better food resources. Indirect evidence for a spring early-summer exodus of non-productive adults has been provided by 1978 band recapture data on west Hudson Bay (R.K. Brace, pers. comm.). Recent increases of snow geese to the northwest at Chantrey Inlet, Rasmussen Basin (P. & M. MacLaren, L. Allen, pers. comm.) and Queen Maud Gulf (Kerbes, unpubl.) possibly account for several thousand moult-migrants from west Hudson Bay. Many more could move to Southampton Island where they could go undetected in the large snow goose population already there. Dzubin (1979) suggested that a moult migration of snow geese could be facilitating the increase of blue phase geese in the central Canadian Arctic.

#### SUMMER HABITAT

On west Hudson Bay there is no evidence that availability of nesting habitat is limiting. Summer (post-hatch) habitat, to provide food



for the recovery of the adults and the growth of the young, however, is a potential limiting factor. Kerbes (1975) suggested that the west Hudson Bay colonies were much closer to carrying capacity than were other eastern Arctic colonies.

Thompson *et al.* (1980) mapped the broad patterns of vegetation of approximately 90,000 km<sup>2</sup> of the southern District of Keewatin, surrounding and including the west Hudson Bay region. Through analyses of Landsat satellite imagery and field sampling, they divided their study area into four vegetation complexes. All of the west Hudson Bay area falls within their Vegetation Complex II (Fig. 1). The main cover types of this complex were lichen-heath tundra (37%), tussock tundra (17%), dwarf shrub-lichen tundra (16%), sedge meadow (13%), and dwarf shrub-sedge tundra (9%). Since the geese feed primarily on sedges and grasses (Lief, 1973; Harwood, 1977), the cover types where those plants predominate, namely sedge meadow, dwarf shrub-sedge tundra, and tussock tundra, are the most important to the geese. The sedge lowland of Kerbes (1975) is composed mainly of those cover types. It appears that the geese would find less available food as they move inland. Theoretically, the geese still have room to expand their summer range (Fig. 1), if the Vegetation Complex II of Thompson *et al.* (1980) is a meaningful delineation of the potential summer habitat. Snow goose families are highly mobile in summer, and they could easily occupy the more favoured parts of the entire Complex II area.

Although the geese moved further inland in 1977-1980, they still showed their highest densities in parts of the sedge lowland of Kerbes (1975). Grazing studies of geese and other animals have shown that the grazers actually stimulate the production of sedges and grasses (Harwood, 1977). Recent quantitative studies of snow geese grazing in the arctic salt marsh of La Pérouse Bay (S. Cargill, pers. comm.) suggest that grazing by the geese doubles the rate at which nitrogen cycles through the system and that the apparent net export of nitrogen may be offset by natural inputs. Clearly, the vegetation on west Hudson Bay cannot be described as overgrazed nor can the geese be described as under-nourished until comprehensive studies of primary production, utilization by the geese and carrying capacity have been done.

### Management implications

Managers, if deemed responsible for maintaining the current population level of snow geese on west Hudson Bay, could provide "imported" food supplies (Harvey, 1971) or they could artificially fertilize the summer range (Lief, 1973; Harwood, 1977). To be effective, however, such measures would be massive, and the costs, both financial and ecological, would be very high. Large-scale introduction of alien chemicals or materials to a relatively pristine arctic environment is obviously not a desirable or practical prospect. Managers could, however, consider a harvest of the snow geese of west Hudson Bay to maintain a population level within range of the area's carrying capacity (which would need to be determined). Conventional sport hunting in southern Hudson Bay, James Bay, southern Canada and the USA could not select for west Hudson Bay birds because of mixing with geese from other colonies on those migration routes and wintering grounds (Dzubin *et al.*, 1975). A closely regulated harvest could be selective if it were undertaken in the west Hudson Bay region. However, hunting restrictions imposed by the Migratory Birds Convention Act prevent effective use of this management tool. Comprehensive studies of the geese, their habitat, and the interactions between the two, are needed to provide alternate management strategies. At present, we can only record the natural course of events. The limits of summer habitat will determine the number of geese.

### Acknowledgments

I am grateful to Jimmy Gibbons, D. McLeod, P. Mineau, P. MacGregor, F. Roetker, C.A. Matthews, G.E.J. Smith, P. Panegyuk and R. Isbister for assistance in various phases of the field work and analysis of data and photographs. W. Erickson of the Churchill Northern Studies Centre aided in logistics. L.A. Tomkewich provided typing services, and E.A. Driver and A.S. Goodman commented on the draft manuscript. Financial support was provided by the Canadian Wildlife Service and the International Arctic Snow Goose Program.

### References

- ABRAHAM, K.F., 1980. Moulting migration of lesser snow geese. — *Wildfowl*, 31 : 89-93.
- ANKNEY, C.D., & A.R. BISSET, 1976. An explanation of egg-weight variation in the lesser snow goose. — *J. Wildl. Mgmt.*, 40 : 729-734.

- ANKNEY, C.D. & C.D. MACINNES, 1978. Nutrient reserves and reproductive performance of female lesser snow geese. — *Auk*, 95: 459-471.
- COOCH, F.G., 1963. Recent changes in distribution of color phases of *Chen c. caerulescens*. — *Proc. int. Ornithol. Congr.*, 13: 1182-1194.
- DZUBIN, A., 1979. Recent increases of blue geese in western North America. — Pages 141-175 in R.L. Jarvis & J.C. Bartonek (eds.), *Management and biology of Pacific flyway geese*. Oregon State Univ. Book Stores Inc., Corvallis, OR, 346 p.
- DZUBIN, A., H. BOYD & W.J.D. STEPHEN, 1975. Blue and snow goose distribution in the Mississippi and central flyways, 1951-71. — *Can. Wildl. Serv. Progress Note* no. 54, 34 p.
- HANSON, H.C., H.G. LUMSDEN, J.J. LYNCH & H.W. NORTON, 1972. Population characteristics of three mainland colonies of blue and lesser snow geese nesting in the southern Hudson Bay region. — *Ont. Min. Nat. Resour. Res. Rep. (Wildl.)* no. 92, 38 p.
- HARVEY, J.M., 1971. Factors affecting blue goose nesting success. — *Can. J. Zool.*, 49: 223-234.
- HARWOOD, J., 1977. Summer feeding ecology of lesser snow geese. — *J. Wildl. Mgmt.*, 41: 48-55.
- KERBES, R.H., 1975. The nesting population of lesser snow geese in the eastern Canadian Arctic: A photographic inventory of June 1973. — *Can. Wildl. Serv. Rep. Ser.* no. 35, Ottawa, 47 p.
- LIEFF, B.C., 1973. The summer feeding ecology of blue and Canada geese at the McConnell River, N.W.T. — Unpub. Ph.D. thesis, Univ. Western Ontario, London, Ont., 203 p.
- MACINNES, C.D., R.H. KERBES, L.S. MALTBY-PREVETT & B.C. LIEFF, 1975. A history of the McConnell River snow goose colony. — Paper presented at Midwest Fish and Wildlife Conference, Toronto, 9 p.
- PREVETT, J.P. & C.D. MACINNES, 1980. Family and other social groups in snow geese. — *Wildl. Monogr.*, no. 71, 46 p.
- SALOMONSEN, F., 1968. The moult migration. — *Wildfowl*, 19: 5-24.
- THOMPSON, D.C., G.H. KLASSEN & J. CIHLAR, 1980. Caribou habitat mapping in the southern District of Keewatin, N.W.T.: An application of digital Landsat data. — *J. appl. Ecol.* 17: 125-138.
- WOBESER, G., D.B. HUNTER, B. WRIGHT, D.J. NIEMAN & R. ISBISTER, 1979. Avian cholera in waterfowl in Saskatchewan, spring 1977. — *J. Wildl. Diseases*, 15: 19-24.



## THE ROLES OF THE JAMES AND HUDSON BAY LOWLAND IN THE ANNUAL CYCLE OF GEESE

V. G. THOMAS

*Department of Zoology, College of Biological Science  
University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1*

and

J. P. PREVETT

*Ontario Ministry of Natural Resources  
Moosonee, Ontario P0L 1Y0*

### Résumé

Pour beaucoup d'oies de l'est de l'Amérique du Nord, les basses-terres de la baie d'Hudson servent de lieu de migration, de reproduction et de mue. Plus de 2,5 millions de petites oies blanches (*Anser caerulescens caerulescens*) et 200 000 petites bernaches canadiennes (*Branta canadensis hutchinsii*) utilisent les marais côtiers pendant de longues périodes au printemps et à l'automne. En effet, le niveau élevé de fertilité et de productivité de la zone côtière entraîne la présence d'un grand nombre d'espèces végétales qui permettent la reproduction, la croissance des juvéniles et l'engraissement de toutes les oies, avant la migration automnale vers les plaines du centre-est américain. Au printemps, les petites oies blanches et les oies tardes se maintiennent à un poids quasi maximal en vue de leur dernière migration vers les aires de reproduction, en se nourrissant de nouvelles pousses et des petits bulbes vivaces de *Triglochin palustris*. Chez les oies des régions arctique et sub-arctique, la faible baisse des réserves de graisse des femelles reproductrices témoigne du rôle-clé des basses-terres auprès des populations nicheuses locales et de celles qui nichent plus au nord. Environ 50% des bernaches cravant observées (*Branta bernicla hrota*) se massent le long des côtes ontariennes où pousse *Zostera marina*. Les vastes terrains marécageux des basses-terres, constituent l'aire de reproduction d'environ 750 000 bernaches canadiennes (*B. c. interior*) du Mississippi et de l'Atlantique. Les bernaches canadiennes nicheuses dans la région des Grands Lacs migrent vers les basses-terres et se joignent aux populations locales pour la mue. La colonie de petites oies blanches du cap Henrietta Maria est la plus méridionale des grandes colonies. Au cours des dix dernières années, le nombre de reproducteurs a presque doublé, pour atteindre 55 000 couples en 1979. Étant donné la plus longue saison de végétation et le territoire encore disponible pour accueillir d'autre nicheurs, cette colonie devrait normalement continuer à augmenter. Les perspectives à court terme semblent favorables; cependant, devant les conséquences évidentes de l'accroissement rapide des populations de l'ouest de la baie d'Hudson, il faudrait suivre de près celle du cap Henrietta Maria.

### Abstract

The Hudson Bay lowland serves as a migratory staging area, breeding and moulting ground for many geese from eastern North America. Over 2.5 million lesser snow geese (*Anser caerulescens caerulescens*) and 200,000 small Canada geese (*Branta canadensis hutchinsii*) use the coastal marshes for extended periods during spring and fall. The high fertility and productivity of the coastal zone support a wide range of plant food species which enable reproduction, continued growth of juvenile geese and fattening of geese of all ages prior to the fall migration to the east-central American plains. In spring, lesser snow geese and Canada geese maintain near maximal yearly weights for the final migration to their breeding areas by feeding on new growth, and the perennating organs of arrowgrass (*Triglochin palustris*). The moderation of the reproductive output of arctic and subarctic geese by female body

condition attests to the lowland's key role for local breeders and populations nesting further north. Approximately 50 percent of Atlantic brant (*Branta bernicla hrota*) have been observed concentrated on the Ontario coast wherever local growth of eelgrass (*Zostera marina*) occurs. Extensive bog-fen complexes of the lowland interior constitute breeding habitat for about 750,000 Canada geese (*B. c. interior*) of the Mississippi and Atlantic flyways. Canada geese breeding around the Great Lakes migrate to the lowland and join local breeders in the molt. The lesser snow goose nesting colony at Cape Henrietta Maria is the most southerly of the large colonies. In the last decade the number of adults breeding there has almost doubled to about 55,000 pairs in 1979. Given that spring break-up occurs earlier resulting in a longer ice-free season than at north Hudson Bay colonies, and the apparent availability of suitable nesting habitat adjacent to the present colony, the colony at Cape Henrietta Maria is likely to continue its expansion. The short term prospects for the colony appear favourable; however, in view of the evident consequences of rapid population growth at west Hudson Bay colonies, the Cape Henrietta Maria colony should be closely monitored.

### Introduction

The lowland of James Bay and Hudson Bay constitutes a vast ecosystem of major importance to geese of the eastern Canadian Arctic and Subarctic. Between spring break-up and freeze-over the following fall, several million geese will have passed through the region, and have become an integral part of its ecology. The main species using the lowland are the lesser snow goose (*Anser c. caerulescens*), various races and populations of Canada geese (*Branta canadensis*), and the Atlantic brant (*Branta bernicla hrota*).

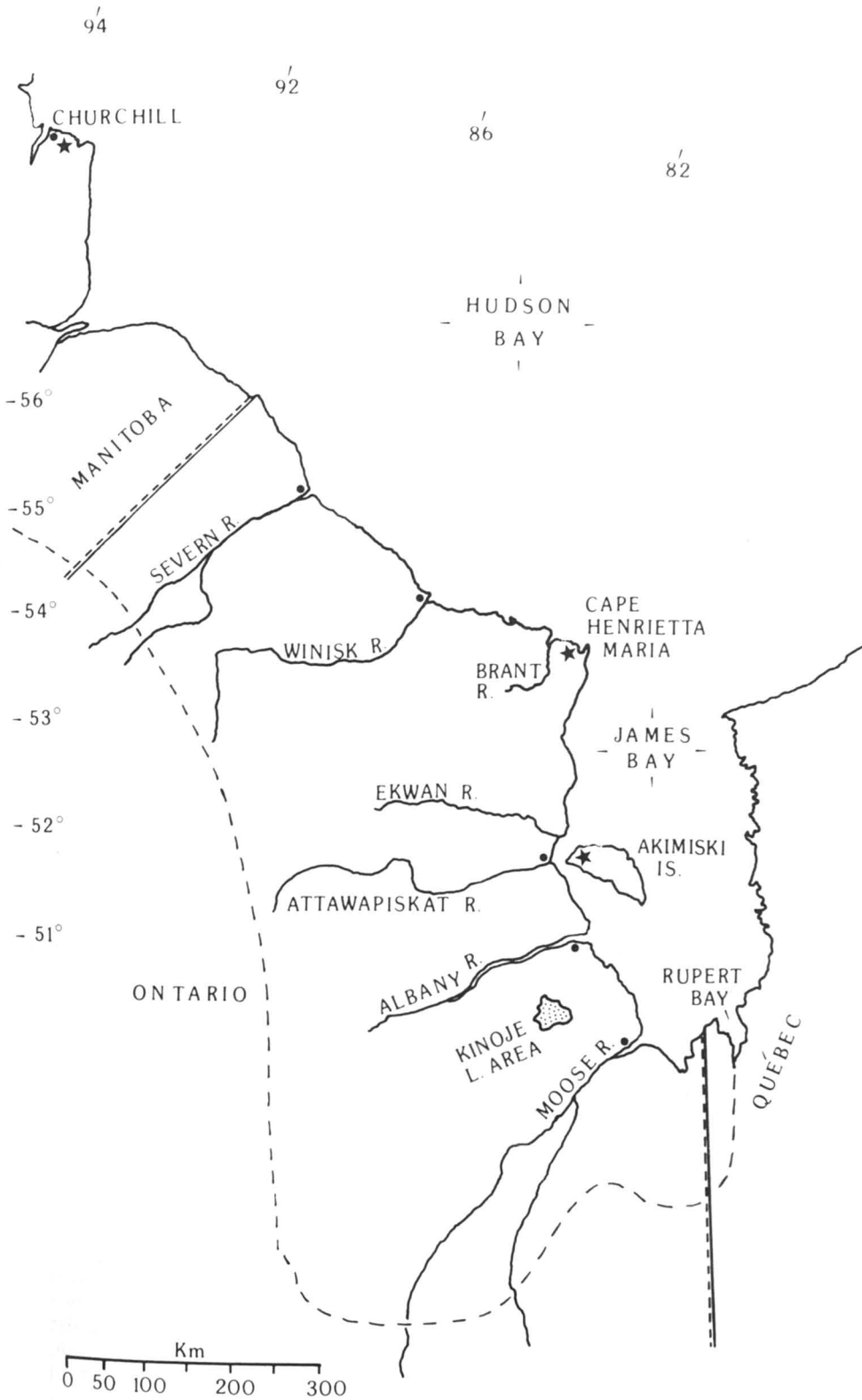
The role of the lowland in the life cycle of geese is multifaceted. For those which nest at higher latitudes, the lowland comprises a principal staging area during spring and fall migration. Geese congregate in the extensive coastal marshes to feed and rest, thus replenishing body reserves before resuming their northward or southward migration (Prevett *et al.*, 1979; Wypkema & Ankney, 1979). The interior muskeg and north coastal tundra are breeding grounds for large numbers of Canada geese and lesser snow geese, respectively. The lowland is also an important molting ground. Local-breeding geese and their young are joined in early summer by Canada geese (mainly *B. c. maxima*) which have migrated to the lowland to undergo their annual molt (Palmer, 1976; Zicus, 1981).

The lowland encompasses over 300,000 km<sup>2</sup>. Coastal marshes ranging from 1 to 10 km in width, extend nearly continuously for over 2,000 km from Rupert Bay, Québec to

north of Churchill, Manitoba (Robinson, 1968) (Fig. 1). The entire region has risen above the post-Pleistocene Tyrrell Sea within the past 7-8,000 years, and the present-day coastal marsh and tundra zones have emerged only within the last thousand years (Webber *et al.*, 1970). The basic soils are fertile and, where not overlain by peat deposits, the productivity of plant species consumed by geese is high (Hanson & Jones, 1976; Glooschenko, 1978).

The following account reviews the relationships of the several goose species, the sizes of the populations using the lowland, and the importance of the lowland in migration and reproduction. The review is designed to collate information on geese in the lowland, and to make it available and useful to workers in a variety of disciplines. Emphasis is placed on the Ontario portion of the lowland reflecting available information, our experience and research interests. The original data are from measurements from Canada geese and lesser snow geese taken at distinct phases of their life cycle from 1978-1980. Spring weights were taken from geese killed at a Cree hunting camp near Ekwan Point on James Bay, pre-breeding data from lesser snow geese were collected at Cape Henrietta Maria nesting colony, and fall data were from birds shot by hunters in southern James Bay. Data on population sizes were taken from U.S. Fish and Wildlife Service-Canadian Wildlife Service "Status of waterfowl and fall flight forecast" reports, unpublished minutes of the Mississippi and Atlantic Flyway Council Technical Sessions.

Figure 1. Map of the James-Hudson Bay lowland depicting locations mentioned in text. Degrees of latitude and longitude and interprovincial boundaries are indicated. ★ denotes a coastal lesser snow goose breeding colony; ● represents a settlement. The broken line denotes the approximate boundary of the lowland.



and occasionally from individuals involved with the inventories.

### Identity and size of goose populations

Most species of geese in North America have been separated into ostensibly discrete populations for management purposes (Hanson & Smith, 1950; Bellrose, 1976). These separations are based upon morphological characteristics and migration patterns elucidated from banding data. The stocks of geese that visit the lowland and their estimated population sizes are indicated in Table I. The latter data were obtained mainly from aerial and ground inventories conducted on goose wintering areas.

Winter inventories of geese yield data of very variable quality. Where a population is confined to refuges and direct counts are made by experienced personnel, results can be accurate. Such was the case with the Mississippi Valley population of Canada geese in the late 1960's (Raveling & Lumsden, 1977). In recent years, with the growth of many Canada goose stocks, more birds are wintering away from refuges, and counts appear to be an index to the severity of the winter rather than goose numbers. The winter inventories of snow geese seem to record less than half of the population (Boyd, 1976). Production and harvest data examined in relation to winter inventories suggest that population estimates are often below the number of geese actually present, and are sometimes spectacularly low. There is also disagreement over the identity and number of races and populations occurring within the lowland, especially Canada geese. We have used generally accepted terminology to describe these populations despite its tendency to oversimplify the situation. Readers are referred to Bellrose (1976) and Palmer (1976) for two recent treatments of this topic. Overall, approximately 4.5 million geese of all species use the lowland during part of their yearly cycle.

Lesser snow geese belong to the Hudson Bay population. They migrate through the lowland in spring and fall between their wintering grounds on the Gulf coast of Louisiana and Texas and breeding areas around Hudson Bay (Dzubin *et al.*, 1975; Kerbes, 1975; Bellrose, 1976). Three main nesting locations occur in the lowland; two small colonies occur near Churchill, Manitoba, a second is on the north coast of

Akimiski Island in James Bay, and a large colony exists on the Hudson Bay coast west of Cape Henrietta Maria (Hanson *et al.*, 1972; Kerbes, 1975). The Cape Henrietta Maria colony has nearly doubled in size since 1973, and more than quadrupled since 1957 to approximately 55,000 breeding pairs in 1979 (Lumsden, 1957; Hanson *et al.*, 1972; Kerbes, 1975; Anghern, 1979). When discovered in 1944, it contained about 100 breeding pairs (Smith, 1944). Kerbes (1975) estimated the entire Hudson Bay population to be a maximum of 3.5 million birds following the hatch in 1973. At the time of fall migration through the lowland, mortality, especially among young of the year, reduced this figure to about 3 million. The population was reduced to 2.1 million by the following spring, due largely to hunting mortality (Kerbes, 1975). Midwinter inventories have consistently underestimated the size of this population by a wide margin (Table I).

Six major populations and several less well defined stocks of Canada geese visit the area (Kennedy & Arthur, 1974). Large-bodied Canada geese (*B. c. interior*) nest throughout the lowland. The eastern Prairie population occupies much of the Manitoba portion and winters in Missouri (Vaught & Arthur, 1965; Vaught & Kirsch, 1966; Raveling, 1977; Malecki *et al.*, 1980, 1981). To the east the Mississippi Valley population breeds from about 175 km west of the Ontario-Manitoba border east and south to the vicinity of the Attawapiskat River (Hanson & Smith, 1950). Southern Illinois is its principal wintering area. Akimiski Island and the area south of the Attawapiskat River is the breeding range of the Tennessee Valley population (Hanson & Smith, 1950; Cummings, 1973; Lumsden & Prevett, unpubl. data). Most of this population winters in Tennessee and northern Alabama. An unquantified but fairly small proportion of the huge mid-Atlantic coast wintering population passes through the southeastern extremity of the lowland to nesting grounds in Québec and Labrador. Some of these birds nest in the lowland of Québec and extreme north-eastern Ontario. An unknown number of giant Canada geese (*B. c. maxima*) from nesting areas in southern Ontario and northern United States make a molt migration to the lowland in summer (Zicus, 1981; Lumsden, unpubl. data). See Bellrose (1976) and Palmer (1976) for a more detailed treatment of Canada geese populations and their ranges.

TABLE I  
 Estimated size of goose populations and proportions using the Hudson Bay lowland\*

Species	Population	Mean mid-winter count 1976-80	% Using <sup>a</sup>		Goose use <sup>b</sup>
			Whole lowland	Ontario portion	
Lesser snow goose <i>Anser c. caerulescens</i>	Hudson Bay	1,607.5 <sup>c</sup>	100	50	Staging, spring and fall; Reproduction
Canada goose		3,100.0 <sup>d</sup>			
<i>Branta canadensis interior</i>	Eastern prairie	215.6	70	5	Reproduction ; molt
<i>B. c. interior</i>	Mississippi Valley	450.1	>95	>90	Reproduction ; molt
<i>B. c. interior</i>	Tennessee Valley	140.0	100	100	Reproduction ; molt
<i>B. c. interior</i>	Mid-Atlantic	713.0	25	5	Migration ; reproduction ; molt
<i>B. c. maxima</i>	Giant Canadas	66.3 <sup>e</sup>	?	?	Molt
<i>B. c. hutchinsii</i>	Tall grass prairie	209.7	100	33	Staging, spring and fall
Atlantic brant <i>Branta bernicla hrota</i>	Atlantic	80.2 <sup>f</sup>	95	50	Staging, spring and fall

\* Figures are from U.S. Fish and Wildlife Service status reports and minutes of Atlantic and Mississippi Flyway Technical Section meetings. Numbers are in thousands.

<sup>a</sup> Approximations based on published range descriptions cited in text and goose surveys on Ontario coast.

<sup>b</sup> Activity of main importance.

<sup>c</sup> Midwinter inventories appear to seriously underestimate wintering snow goose numbers most years. See text.

<sup>d</sup> From Kerbes, 1975 : 31.

<sup>e</sup> Reported for Mississippi flyway. Band recoveries have indicated a molt migration of local flocks from southern Ontario, northwestern Wisconsin and other locations, but proportions involved are unknown (Zicus, 1981 ; H.G. Lumsden, pers. comm.).

<sup>f</sup> The mean of the highest of several counts done during most winters, 1976-1980.



Small-bodied Canada geese (*B. c. hutchinsii*) are ecologically distinct from the large-bodied races. Their migration patterns more resemble those of snow geese in that they pass through the lowland in spring and fall *en route* between Arctic breeding areas (from Baffin Island to near 102°W in the Queen Maud Gulf region) and wintering areas in Kansas, Oklahoma and Texas (MacInnes, 1966; Bellrose, 1976). A further point of similarity lies in their use of intertidal saltings.

Atlantic brant that visit the lowland winter on the mid-Atlantic seaboard and nest at scattered locations in the eastern and high Arctic (Bellrose, 1976; Palmer, 1976). Population levels have been extremely variable historically, due primarily to the effects of inclement weather, storm tides and delayed snow melt on their reproduction. Recently, large scale mortality has occurred during the severe winters of 1976-1977 and 1977-1978. The range of the highest winter counts from 1976 to 1980 was 115,000 (1967-1977) to 48,000 (1978-1979). Numbers of brant have begun to recover during the past two years.

Some species of geese which normally breed in western North America occur incidentally in the lowland. Several pairs of Ross' geese (*Anser rossii*) were recently discovered nesting in the snow goose colonies at La Pérouse Bay, Manitoba (Ryder & Cooke, 1973), and Cape Henrietta Maria, Ontario (Prevett & Johnson, 1977). Previously they had been reported among the kill of migrating lesser snow geese (Cooch, 1954; Lumsden, 1963). Four white-fronted geese have been reported shot on the Ontario James-Hudson Bay coast since 1973 (Prevett, unpubl. data).

### Roles of the lowland to goose populations

#### LARGE CANADA GEESE

The primary importance of the lowland to *B. c. interior* is as a vast breeding ground. Canada geese normally re-occupy their breeding range in mid-April in lower James Bay (Raveling & Lumsden, 1977), and 3-4 weeks later along Hudson Bay. Arriving geese congregate where open water is available along rivers and at the coast. Large numbers are shot by Cree Indians at this time (Hanson & Currie, 1957; Prevett & Lumsden, in prep.). As snow melt begins, pairs move inland to fens and, to a lesser

extent, to bog ponds to initiate nesting. In the Kinoje lakes area (Fig. 1), 97% of nests were located in these two habitats, and 87% of nests were on islands in ponds of 0.4-2.0 ha, or on hummocks (Raveling & Lumsden, 1977).

*B. c. interior* arrive on the breeding ground at close to their peak annual weight, having deposited reserves of fat and muscle protein during spring migration through the northern United States and southern Canada (Hanson, 1962; Raveling & Lumsden, 1977). Geese must survive on these reserves during the initial phases of reproduction since little food is available until most snow cover has disappeared. Limited feeding occurs along the James Bay coast on newly-emerging and underground parts of marsh vegetation, particularly sedges (*Carex* spp.), horsetails (*Equisetum* spp.) (Hanson, 1962; Thomas & George, 1975), and arrowgrass (*Triglochin palustris*) (Prevett, unpubl. data). When nesting is delayed by late snow melt or significant spring snowfall, less reserves are retained for egg production and maintenance, with a consequent decline in the number of pairs that breed and average clutch size (Raveling & Lumsden, 1977).

Few data exist on the weights of Canada geese prior to breeding in the lowland. Raveling & Lumsden (1977) calculated that a female weighing 3,000 g during early incubation of a mean clutch of 3.5 eggs should weigh 3,860 g prior to egg laying: data from geese shot in 1979 and 1980 at Ekwan Point within 10 days of laying closely support this estimate. In both years the weight of breeding birds exceeded that of non-breeders, especially in females (Table II). Similarly, indices of fat reserves were significantly higher in pre-laying females than in non-breeding females (Thomas, unpubl. data).

In seasons of late snow melt the native kill of Canada geese increases because breeders remain longer in coastal areas where they are accessible to hunters (Hanson & Currie, 1957).

Canada geese are secretive following the hatch, and little is known about their summer activities in the muskeg when goslings are growing and adults are undergoing their annual molt. The north shore of Akimiski Island, river mouths, and pond tundra on the Hudson Bay coast are used at this time by segments of the population. Autumn migration from the lowland begins in late

TABLE II

Mean body weights (g) of Canada geese (*B. c. interior*) shot at Ekwan Point, Ontario, during the spring migration of 1979 and 1980\*

Year	Males			Females		
	Adult	Sub-adult	Immature	Adult	Sub-adult	Immature
1979	4,196	4,139	3,867	3,757	3,406	3,395
	±145	±126.5	±45.0	±39.1	±67.1	±29.6
	9	15	45	18	22	60
1980	4,392	4,211	3,809	3,866	3,360	3,199
	±41.0	±154.2	±48.8	±55.1	±47.9	±42.2
	57	16	45	59	45	46

\* Values are accompanied by the standard error and sample size<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Between-year significant differences do not exist ( $P > 0.05$ ) in the weights of geese of any age or gender, except immature females.

August and early September (probably involving mostly sub-adult birds) and continues into October. A few geese remain in southern James Bay until freeze-over in early November.

Some giant Canada geese from re-introduced flocks in the Great Lakes region migrate to the lowland to undergo their molt. Such molt migrations involve sub-adults, failed breeders and non-breeders (Zicus, 1981). The purpose of molt migrations is unknown, but it is assumed that birds seek safe locations, free from disturbance while flightless (Ogilvie, 1978). Kin selection could be a further advantage, as would the earlier stage of vegetation growth at higher latitudes (Newton, 1977).

#### SMALL CANADA GEESE

The numbers and distribution of small Canada geese (*B. c. hutchinsii*) migrating through the lowland in spring are not well known. Fall aerial surveys have revealed small Canada geese along the entire Ontario coastline of James Bay and Hudson Bay, but certain areas are favoured. An average of 9,000 birds was present on the James Bay coast north of the Kapiskau River from 1975-1980 representing birds of Baffin Island stock. These geese originate from the Foxe Basin and migrate through western James Bay and Akimiski Island, thence along the Mississippi flyway to Texas. Large concentrations of *B. c. hutchinsii* are also found along the tidal flats west of the Winisk River to the Manitoba border. These small Canada geese from Southampton Island and west Hudson

Bay migrate through the central flyway to winter in Texas. Aerial surveys conducted before 1979 missed many of these geese since the shoreline and upper tidal flats were not completely censused. In 1979 and 1980 however, this region was surveyed and 22,000 and 20,000 small Canada geese were counted, respectively. Considering the whole Ontario coastline, counts of 48,500 and 38,100 birds were obtained in 1979 and 1980. Aerial counts provide instantaneous estimates of the population at a given location, so, allowance for "flow-through" during the fall migration would make these counts considerably higher. The unreliability of the mid-winter inventory of the tall grass prairie population precludes our indicating what proportion of the population uses the lowland, but it could be as high as one third of the total population. This is more than has previously been assumed (Bellrose, 1976, p. 146). Most of this population uses the Manitoba coast, while relatively few visit the Québec coast (Curtis & Allen, 1976; Bellrose, 1976).

#### ATLANTIC BRANT

Brant (*Branta bernicla hrota*) arrive in southern James Bay in mid to late May and migrate along both coasts to Arctic breeding areas. The patterns of abundance along the Québec coast in spring and fall have been described by Curtis & Allen (1976). Little is known about the ecology of these geese in spring on the Ontario coasts. However, between 3 and 9 June, 1978, Prevett observed 10-20,000 brant frequenting the upper tidal zone on the

fringes of the lesser snow goose colony 25 km west of Cape Henrietta Maria. Strong north and north-east winds with sleet and snow apparently prevented their northward migration. The brant appeared to be feeding on the grass *Puccinellia phryganodes*. The persistent ice on the intertidal flats and nearshore areas throughout early June presumably would preclude spring feeding on their traditional fall food, eel grass (*Zostera marina*), in any year.

Surveys in Ontario have established that brant make heavy use of the Hudson Bay coast between Cape Henrietta Maria and the Brant River in fall. Large numbers also congregate around eel grass beds off North Point in south James Bay. An average of 23,500 brant were counted during aerial surveys in Ontario between 1975 and 1980. This represents 30% (range 6-41%) of the average maximum count obtained during winter inventories on the Atlantic coast in the same years. The Ontario surveys did not include the north-west shore of Akimiski Island where large numbers of brant are known to congregate (Curtis, pers. comm.). Allowing for "flow through" during migration it is probable that nearly 50% of the Atlantic brant population passes through Ontario in most years. It has been generally believed that the west coasts of Hudson Bay and James Bay were of minor importance to brant compared with the Québec coast (Bellrose, 1976, p. 171). Although direct studies are lacking, it would appear that the lowland is a vital component of brant ecology, as an area where the birds can maintain body condition during spring migration to breeding areas, and where they can recover condition in the fall after the rigours of reproduction prior to their fall migration to the mid-Atlantic coast.

#### LESSER SNOW GEESSE

##### *Events during the spring*

The lowland serves a dual function for the lesser snow geese (*Anser c. caerulescens*). Approximately 10% of the Hudson Bay population nests in the lowland, the majority at the Cape Henrietta Maria colony (Ontario). More importantly, the coastal zone including that of Manitoba and Québec is a staging area for the entire Hudson Bay population during both spring and fall migrations. Thus, the quantity and quality of foods in the coastal marshes play a vital role in the ecology of the species, with important implications for reproduction

and the pattern of fall flight out of the lowland.

The majority of these geese normally arrive at James Bay during the first week of May, after a non-stop flight from the north-eastern prairies (Blokpoel, 1974; Gauthier *et al.*, 1976). Geese arriving on the west coast of James Bay may, depending on weather conditions, continue northward after a brief delay, or fly to the south end of the bay, from which they gradually move northward with favourable weather conditions. In some years two or more reverse flights may occur along the bay. Thus in years when spring break-up has proceeded rapidly, the geese spend little time at the bay (as in 1979), whereas in late springs they may stage for up to three weeks. These patterns have a marked effect upon the size of the spring kill by Cree Indians. From 1974-1976, the kill ranged from 6,500 to 14,000 for the Ontario coasts of the bays. At a traditional hunting camp at Ekwan Point, the estimated kill of lesser snow geese for 1978, 1979 and 1980 was 250, 5 and 303, respectively.

The geese feed in melt pools and exposed marsh while at James Bay, eating newly-sprouted vegetation and underground parts of plants. Perennating organs of arrowgrass (*Triglochin palustris*) are a preferred and nutritious food (Prevett *et al.*, 1979; Thomas & Prevett, 1980). Wypkema & Ankney (1979) reported that lesser snow geese gained weight and muscle protein and maintained fat reserves at this time. We studied the weights and body components of geese shot at Ekwan Point from 1978 to 1980, and confirmed their findings (Table III).

The geese spent very little time along the coast of James Bay in 1979 and no data were obtained. Data for 1978 and 1980 were assorted into three periods, corresponding to when geese were arriving in the area and flying south, when they were flying both north and south, and when they were departing for the north, respectively. The weights of adult females in breeding condition (as determined by the bursal depth and extent of ovarian recrudescence) were significantly ( $P < 0.01$ ) heavier in the last period than in the first in both 1978 and 1980 (Table III). These gains in weight were not due to heavier intestinal contents as a result of increased feeding, since changes in the incidence of feeding did not coincide with changes in weight. These results confirm

TABLE III

Mean body weights of adult female pre-breeding lesser snow geese collected at Ekwan Point and the Cape Henrietta Maria breeding colony, Ontario, during 1978 and 1980.

	1978			1980		
	May 4-11	May 12-13	May 14-20	April 30-May 2	May 3-4	May 6-8
Ekwan Point	2,364 <sup>abe</sup> ±34 36	2,547 <sup>a</sup> ±36 35	2,629 <sup>b</sup> ±102 8	2,540 <sup>ce</sup> ±45 27	2,576 <sup>d</sup> ±31 25	2,707 <sup>cd</sup> ±62 21
Cape Henrietta Maria			2,667 ±33 25			2,713 ±52 27

<sup>a-e</sup> Mean values with the same superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

that in both years a net gain in weight occurred while geese occupied the lowland, thus enhancing the condition of the staging female geese. Lesser snow geese arrived at Ekwan Point later in 1978 than in 1980 and were present there for a longer period (17 days) than in 1980 (10 days). Snow geese designated "arrivals" in 1978 weighed significantly less ( $P < 0.05$ ) than in 1980, suggesting annual variation in the condition of geese entering the lowland. However, geese departing from the area were of comparable weight in both years. The weights of adult female geese departing from the vicinity of Ekwan Point in 1978 and 1980 were very similar to the weights of geese arriving at the Cape Henrietta Maria breeding colony in both years. This indicates that little further weight gain occurred after geese departed this region for the breeding colony. The mean weight of adult females arriving at the colony in 1979 was  $2,862 \pm 72.2$  (1 SE) g, a value higher than in 1978 and 1980, but not statistically significant.

It is believed that lesser snow geese acquire the majority of their energy reserves in the northern mid-west prairies (Campbell, 1979). The fact that geese can increase their body weight in James Bay during spring migration has several energetic implications. Energy losses incurred by migration across the boreal forest to the lowland can be regained. Should the northward migration from the lowland to the breeding colonies be arrested by climatic conditions, geese may maintain their energy reserves (Wypkema & Ankney, 1979). A further point of significance is that the gain in body weight in James Bay may compensate in part for sub-optimal weight gain in the mid-west

prairies. Such a situation could occur in drought years when spring primary production there might be depressed (Cooch, 1980).

The rapid expansion of the Cape Henrietta Maria colony has several implications for the reproductive biology of lesser snow geese which deserve examination. Perhaps energy dissipated in migration and while awaiting appropriate nesting conditions at north Hudson Bay colonies could be used to augment reproductive output at the Cape Henrietta Maria colony, as in more or larger eggs (Ankney & Bisset, 1976; Ankney & MacInnes, 1978), unless controlled by other factors (Campbell, 1979). Also, the duration of the summer season is longer at this latitude than further north, and earlier melt conditions and a more moderate climate could lead to earlier vegetation growth. Thus females would not always be totally dependent upon reserves brought with them to the colonies, such as at west Hudson Bay (Ankney, 1977; Ankney & MacInnes, 1978). Breeding adults have apparently ample access to food at the Cape Henrietta Maria colony in some years (Table IV) and this could enhance reproductive success.

The Cape Henrietta Maria colony appears capable of extending its present limits considerably since suitable habitat still lies adjacent to the colony. Moreover, habitat deterioration of brood rearing areas has not yet appeared, unlike the situation reported at the McConnell River colony (Lief, 1973; Kerbes, 1975). However, the population size and status of the brood range should be monitored to determine if deterioration due to overgrazing occurs.

TABLE IV

Incidence of feeding by breeding lesser snow geese at Cape Henrietta Maria colony, 1978-1980\*

Stage of breeding		1978		1979		1980	
		Feeding	Not feeding	Feeding	Not feeding	Feeding	Not feeding
Before and during laying	Females	1	—	10	—	—	—
	Males	2	—	4	—	—	—
Early incubation	Females	8	17	12	4	10	12
	Males	2	8	9	3	—	—

\* Values are the number of geese containing vegetation in the oesophagus, proventriculus or gizzard

Should the growth of this colony continue at its present rate it will soon become a major contributor of geese to the Hudson Bay population.

#### Events during fall

The lowland's coastal marshes are equally as important to snow geese in fall as in spring. Geese begin to congregate along the coasts in late August, reaching peak numbers during late September-early October, and gradually decreasing until few remain in southern James Bay by the second week of November. A wide variety of plants are consumed by geese during this time, although 90% of the diet comprises only nine species. The diet progressively changes from green aerial parts to underground roots, rhizomes and perennating organs as the fall advances and plant nutrients are translocated into the root systems (Prevett *et al.*, 1979). Wypkema & Ankney (1979) reported that the fat reserves of all snow geese increased significantly while at James Bay during the fall of 1976. They concluded that the fall staging period in James Bay was essential for continued growth of juveniles, and the increase in fat reserves was necessary for fall migration to the mid-west (Cooch, 1958).

Weights obtained from geese shot by hunters in southern James Bay in 1979 and 1980 confirmed Wypkema & Ankney's (1979) results (Fig. 2). There was a suggestion that the weights of birds shot throughout the fall of 1979 were heavier than in 1980, suggesting different hatching phenologies in those years. The weights of geese of all age and sex groups declined during the second or third sampling weeks in both 1979 and 1980. The decline in weight could be interpreted as resulting from lighter weight geese (possibly from Baffin Island) joining heavier

geese from Cape Henrietta Maria. Alternately, it could be that heavier geese migrate first, regardless of their origin. However, these suggestions require substantiation. The data for both years do not show a tendency for birds to gain weight in southern James Bay. However, since the weights of all age and sex categories are much higher than at the end of the molt on the breeding grounds, substantial gains must be made further north on the James Bay or Hudson Bay coasts.

#### Acknowledgments

Emile Nakogee, Chief at Attawapiskat, and his family, allowed us to take measurements of geese shot at his spring camp at Ekwan Point from 1978 to 1980. Ian Marshall, Robert Stitt and Lewis McTague were capable research assistants. Fred Johnson, Ontario Ministry of Natural Resources, Moosonee, provided important logistical support. Numerous people associated with the Flyway Councils and goose inventory programmes in Canada and the United States helped with the estimates of population size. Harry Lumsden, Research Branch, Ontario Ministry of Natural Resources, generously allowed unpublished information to be cited, and provided a wealth of ideas, information and experiences for us to draw upon. The authors also wish to acknowledge the life-time works of Harold Hanson, Illinois Natural History Survey Unit, who pioneered goose research in the James-Hudson Bay lowland, performed forefront research on geese in that area, and provided us with much of the fundamental science conveyed in this paper. Financial support to Thomas was provided by grants from the Ontario Ministry of Natural Resources and the Natural Sciences and Engineering Research Council, Ottawa.

#### References

- ANGHERN, P.A.M., 1979. A population estimate of the lesser snow goose nesting colony at

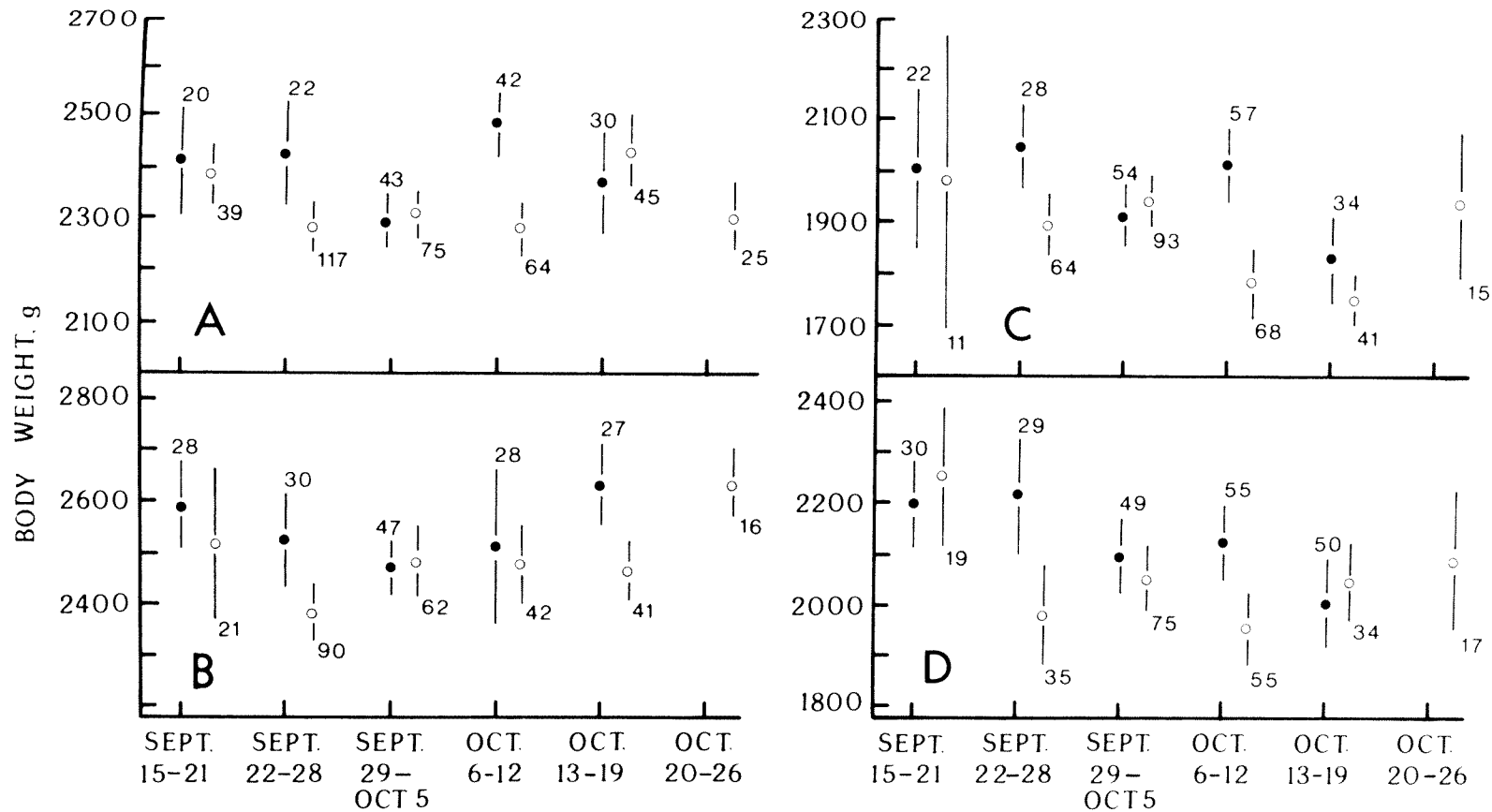


Figure 2. Body weights of lesser snow geese shot during the fall of 1979 and 1980 in lower James Bay. Mean values were calculated for six arbitrarily-chosen, consecutive time periods, and are presented with the 95% confidence interval and sample size. ● and ○ represent means for 1979 and 1980, respectively. A = adult females, B = adult males, C = juvenile females, D = juvenile males.

- Cape Henrietta Maria, Ontario on 14 June, 1979. — Unpubl. Rep. Can. Wildl. Serv., Ottawa, 12 p.
- ANKNEY, C.D., 1977. Feeding and digestive organ size in breeding lesser snow geese. — *Auk*, 94: 275-282.
- ANKNEY, C.D. & A.R. BISSET, 1976. An explanation of egg weight variation in the lesser snow goose. — *J. Wildl. Mgmt*, 40: 729-734.
- ANKNEY, C.D. & C.D. MACINNES, 1978. Nutrient reserves and reproductive performance of female lesser snow geese. — *Auk*, 95: 459-471.
- BELLROSE, F.C., 1976. Ducks, geese and swans of North America. — Stackpole Books, Harrisburg, Pennsylvania, 540 p.
- BLOKPOEL, H., 1974. Migration of lesser snow and blue geese in spring across southern Manitoba. Part 1. Distribution chronology, directions, numbers, heights and speeds. — *Can. Wildl. Serv. Rep. Ser.*, no. 28, 30 p.
- BOYD, H., 1976. Estimates of total numbers in the Hudson Bay population of lesser snow geese, 1964-1973. — *Can. Wildl. Serv. Prog. Notes*, no. 63, 7 p.
- CAMPBELL, R.R., 1979. Ecophysiological studies in lesser snow geese (*Anser caerulescens caerulescens*) of the La Pérouse Bay Colony. — Ph.D. thesis, Univ. of Guelph, Ontario, 383 p.
- COOCH, F.G., 1954. Ross goose in the eastern Arctic. — *Condor*, 56: 307.
- COOCH, F.G., 1958. The breeding biology and management of the blue goose (*Chen caerulescens*). — Ph.D. thesis, Cornell Univ., Ithaca, N.Y., 235 p.
- COOCH, F.G., 1980. 1980 fall flight forecast of arctic and sub-arctic geese nesting in Canada. — *Can. Wildl. Serv. Rep.*, Ottawa, 17 p.
- CUMMINGS, G.E., 1973. The Tennessee Valley population of Canada geese. — Unpubl. Rep. U.S. B. Sport Fish. Wildl., 51 p.
- CURTIS, S.G. & L. ALLEN, 1976. Waterfowl ecology of the Québec coast of James Bay. — Pages 701-724 in *Proc. James Bay Environ. Symp. Envir. Canada, Société de Développement de la Baie James et la Société d'Énergie de la Baie James*, Montréal, Québec, 883 p.
- DZUBIN, A., H. BOYD & W.J.D. STEPHEN, 1975. Blue and snow goose distribution in the Mississippi and central flyways, 1951-1971. — *Can. Wildl. Serv. Prog. Notes* no. 54, 34 p.
- GAUTHIER, M.C., H. BLOKPOEL & S.G. CURTIS, 1976. Observations on the spring migration of snow geese from southern Manitoba to James and Hudson Bays. — *Can. Fid Nat.*, 90: 196-199.
- GLOOSCHENKO, W.A., 1978. Above-ground biomass of vascular plants in a subarctic James Bay salt marsh. — *Can. Fid Nat.*, 92: 30-37.
- HANSON, H.C., 1962. The dynamics of condition factors in Canada geese and their relation to seasonal stresses. — *Arct. Inst. N. Am. Tech. Pap.* no. 12, 68 p.
- HANSON, H.C. & C. CURRIE, 1957. The kill of wild geese by the natives of the Hudson-James Bay region. — *Arctic*, 10: 211-229.
- HANSON, H.C. & R.L. JONES, 1976. The biogeochemistry of blue, snow, and Ross' geese. — Ill. St. Univ. Press, Carbondale, 281 p.
- HANSON, H.C. & R.H. SMITH, 1950. Canada geese of the Mississippi flyway with special reference to an Illinois flock. — *Bull. Ill. St. nat. Hist. Surv.*, 25: 67-210.
- HANSON, H.C., H.G. LUMSDEN, J.J. LYNCH & H.W. NORTON, 1972. Population characteristics of three mainland colonies of blue and lesser snow geese nesting in the southern Hudson Bay region. — *Ont. Min. Nat. Resour. Res. Rep. (Wildl.)*, no. 92, 38 p.
- KENNEDY, D.D. & G.C. ARTHUR, 1974. Subflocks in Canada geese of the Mississippi Valley population. — *Wildl. Soc. Bull.*, 2: 8-12.
- KERBES, R.H., 1975. Lesser snow geese in the eastern Canadian Arctic. — *Can. Wildl. Serv. Rep. Ser.*, no. 35, 46 p.
- LIEFF, B.C., 1973. Summer feeding ecology of blue and Canada geese at the McConnell River, N.W.T. — Ph.D. thesis, Univ. of Western Ontario, London, 230 p.
- LUMSDEN, H.G., 1957. A snow goose breeding colony in Ontario. — *Can. Fid Nat.*, 71: 153-154.
- LUMSDEN, H.G., 1963. Further records of the Ross' goose in Ontario. — *Can. Fid Nat.*, 77: 174-175.
- MACINNES, C.D., 1966. Population behavior of eastern Arctic Canada geese. — *J. Wildl. Mgmt*, 30: 536-553.
- MALECKI, R.A., F.D. CASWELL, K.M. BABCOCK, R.A. BISHOP & R.K. BRACE, 1980. Major nesting range of the eastern Prairie population of Canada geese. — *J. Wildl. Mgmt*, 44: 229-232.
- MALECKI, R.A., F.D. CASWELL, R.A. BISHOP, K.M. BABCOCK & M.M. GILLESPIE, 1981. A breeding ground survey of E.P.P. Canada geese in northern Manitoba. — *J. Wildl. Mgmt*, 45: 46-53.
- NEWTON, I., 1977. Timing and success of breeding in tundra-nesting geese. — Pages 113-126 in B. Stonehouse & C. Perrins (eds.). *Evolutionary ecology*. MacMillan Press, London, 310 p.
- OGILVIE, M.A., 1978. Wild geese. — Buteo Books, Vermillion, SD, 350 p.
- PALMER, R.S., 1976. Handbook of North American birds. Vol. 2. — Yale Univ. Press, New Haven, Conn., 521 p.
- PREVETT, J.P. & F.C. JOHNSON, 1977. Continued eastern expansion of Ross' goose. — *Condor*, 79: 121-123.
- PREVETT, J.P., I.F. MARSHALL & V.G. THOMAS, 1979. Fall foods of lesser snow geese in the

- James Bay region. — *J. Wildl. Mgmt.*, 43: 736-742.
- RAVELING, D.G., 1977. Canada geese of the Churchill River basin in north-central Manitoba. — *J. Wildl. Mgmt.*, 41: 35-47.
- RAVELING, D.G. & H.G. LUMSDEN, 1977. Nesting ecology of Canada geese in the Hudson Bay Lowlands of Ontario: evolution and population regulation. — *Ont. Min. Nat. Resour. Fish. Wildl. Res. Rep.*, no. 98, 77 p.
- ROBINSON, J.L., 1968. Regional geography. — Pages 201-235 in C.S. Beals (ed.). *Science, history and Hudson Bay*. Vol. 1. Queen's Printer, Ottawa, 501 p.
- RYDER, J.P. & F. COOKE, 1973. Ross' geese nesting in Manitoba. — *Auk*, 90: 691-692.
- SMITH, R.H., 1944. An investigation of the waterfowl resources of the west coast of James Bay. — *Unpubl. Rep. Can. Wildl. Serv.*, Ottawa, 80 p.
- THOMAS, V.G. & J.C. GEORGE, 1975. Plasma and depot fat fatty acids in Canada geese in relation to diet, migration and reproduction. — *Physiol. Zool.*, 48: 157-167.
- THOMAS, V.G. & J.P. PREVETT, 1980. The nutritional value of arrow grasses to geese at James Bay. — *J. Wildl. Mgmt.*, 44: 830-836.
- VAUGHT, R.W. & G.C. ARTHUR, 1965. Migration rates and mortality rates of Canada geese banded in the Hudson Bay lowlands. — *J. Wildl. Mgmt.*, 29: 244-252.
- VAUGHT, R.W. & L.M. KIRSCH, 1966. Canada geese of the eastern Prairie population, with special reference to the Swan Lake flock. — *Mo. Dept. Conserv. Tech. Bull.*, no. 3, 91 p.
- WEBBER, P.J., J.W. RICHARDSON & J.T. ANDREWS, 1970. Post glacial uplift and substrate age at Cape Henrietta Maria, southeastern Hudson Bay, Canada. — *Can. J. Earth Sci.*, 7: 317-325.
- WYPKEMA, R.C.P. & C.D. ANKNEY, 1979. Nutrient reserve dynamics of lesser snow geese staging at James Bay, Ontario. — *Can. J. Zool.*, 57: 213-219.
- ZICUS, M.C., 1981. Molt migration of Canada geese from Crex Meadows, Wisconsin. — *J. Wildl. Mgmt.*, 45: 54-63.





## DUCK DISTRIBUTION ALONG THE JAMES AND HUDSON BAY COASTS OF ONTARIO

R. K. ROSS

*Canadian Wildlife Service, Ontario Region  
1725 Woodward Drive, Ottawa, Ontario K1A 0E7*

### Résumé

Au printemps, à l'été et à l'automne des années 1976-1979, le Service canadien de la faune a réalisé seize inventaires aériens afin d'évaluer l'utilisation par les canards des rives ontariennes des baies James et d'Hudson. Les migrateurs printaniers utilisent surtout la côte sud de la baie James, puisqu'elle est la première zone sans neige. À la mi-été, les canards barboteurs en mue se concentrent dans des zones riches en ressources alimentaires, éloignées des humains et pourvues d'abris sûrs. Un nombre considérable de canards pilets se rassemblent à partir de Winisk, sur la côte ouest de la baie d'Hudson. Les canards plongeurs, surtout des macreuses à bec jaune en mue, forment plusieurs hardes compactes à divers sites habituels au large des côtes des baies James et d'Hudson. À l'automne, les barboteurs en migration occupent toute la côte ontarienne, pour se réunir ensuite dans la partie centrale de la côte de la baie James, où on en retrouve des concentrations très élevées, semblables à celles de certaines régions du sud des Grands Lacs. Ces rassemblements sont probablement dus au mouvement en forme d'entonnoir des migrateurs vers le sud et aux propriétés trophiques des immenses marais côtiers.

### Abstract

The Canadian Wildlife Service undertook 16 aerial surveys during the spring, summer, and fall from 1976-79 to assess the importance to ducks of various sectors of the northern shore of Ontario. Spring migrants used the southern James Bay shoreline most heavily as it was the first section to melt. Moulting dabblers in mid-summer were found in zones believed to provide concentrated food sources, remoteness from human disturbance, and heavy cover; most notable was the Hudson Bay shoreline west of Winisk where large numbers of northern pintails gathered. Diving ducks, particularly black scoters, formed dense moulting flocks at various traditional offshore sites along both the James and Hudson Bay coasts. Numbers of migrant dabblers rose rapidly during the fall throughout the Ontario coast. Extremely high concentrations, comparable to those around parts of the southern Great Lakes, occurred along the central James Bay shore; those levels were probably due both to funneling of southward-moving migrants and to the rich food resources provided by the vast coastal marshes.

### Introduction

The coastal zones of James and Hudson Bays have long been known to support large numbers of waterfowl (Isham *in* Rich, 1949; Pennant, 1785); however, detailed studies have previously concentrated on the more intensely hunted species, particularly geese (Cooch, 1961; Cooke & Cooch, 1968; Hanson *et al.*, 1972; Raveling & Lumsden, 1977; Prevet *et al.*, 1979). Studies of the abundant ducks occurring along that shoreline were limited to isolated inventories, annotated lists and anecdotal observations (Manning,

1952; Lumsden, 1959; Peck, 1972). Given the lack of any extensive information on ducks, the Canadian Wildlife Service undertook a series of 16 aerial surveys from 1976 to 1979 to document the temporal and spatial distribution and species composition of duck usage of the northern shore of Ontario. These data provide baseline information necessary for determining the importance of that shoreline to ducks, and ultimately for contributing to the prediction of environmental impacts of development activities, such as mining, hydroelectric dams and petroleum explorations. This paper presents

a general description of duck usage of the northern shoreline of Ontario and offers an explanation of the birds' distribution in terms of broad habitat characteristics of that coastline.

**Survey zones**

The James and Hudson Bay coasts of Ontario were divided into six survey zones (Fig. 1). These zones were chosen to be sufficiently large to avoid sampling error and yet have relatively distinctive vegetational, physiognomic and geographic properties.

*Moose zone* (272 km, Québec border to Nomansland Point). The Moose zone lies in the southernmost part of James Bay. It contains a variety of shoreline habitats ranging from rocky promontories to extensive coastal marsh associated with the Harricana and Moose rivers.

*Kapiskau zone* (228 km, Nomansland Point to Ekwan Point). The Kapiskau zone is heavily influenced by the Albany and Attawapiskat rivers which have fostered the development of a continuous and very broad band of coastal marsh (greater than 5 km wide in places).

*Swan zone* (137 km, Ekwan Point to Lakitusaki River). The Swan zone extends over the intergradation of the taiga and tundra

biomes. Major coastal marshes occur along the northern third of the zone while beach ridges damming small ponds are more prominent in the south.

*Cape zone* (261 km, Lakitusaki River to Little Cape). The Cape zone subtends a patch of subarctic tundra. A large coastal marsh is found just west of Cape Henrietta Maria.

*Winisk zone* (261 km, Little Cape to Shagamu River). The Winisk zone contains wide coastal marshes only around the large rivers (Sutton, Kinusheo, Winisk); narrow and highly intermittent marshes are found along the remaining shoreline. In the western third of the zone, beach ridges have created highly productive brackish ponds near the shore.

*Severn zone* (236 km, Shagamu River to Manitoba border). The Severn zone contains large marshes around the Severn River mouth and the Pen Islands. Rich shoreline ponds are widely distributed along the remaining coast which is sandier in character than that of the Winisk zone.

**Methods**

The aerial surveys of ducks on the coastal marsh and river mouths were carried out by two observers usually in a DHC Otter or Cessna 337 Super Skymaster aircraft flying

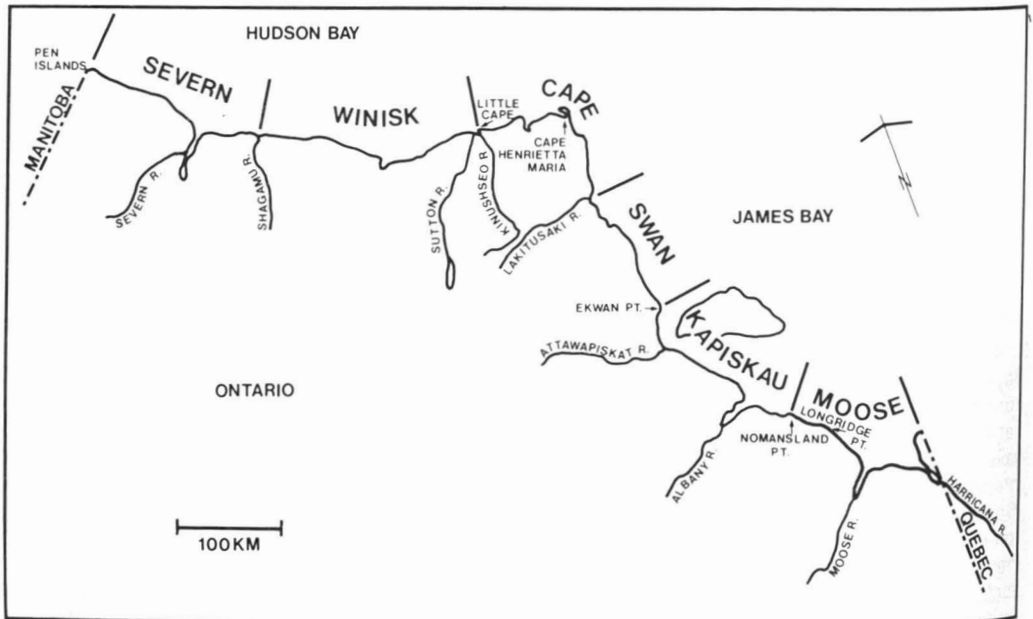


Figure 1. The northern shoreline of Ontario showing waterfowl survey zones.

at approximately 160 km/h and 100 m above sea level. Survey dates and coverages are presented in Table I.

Each flight followed a standardized route along the high tide line where duck concentrations were usually the highest. Occasionally slight diversions were made, particularly around river mouths, to examine duck flocks seen in the distance. All waterfowl seen were recorded and no lateral boundaries for sightings were imposed although observations were usually limited to within 300 m of the aircraft. In some zones, the marshes and mudflats were so extensive that complete coverage of all likely habitat was impossible; however, preliminary ground observations (Ross, unpublished) indicated that most dabblers were found in the area traversed. The values produced should be recognized as minima, particularly in those zones with much broad marsh (Moose, Kapiskau, Swan).

Levels of utilization by ducks have been estimated by calculating the total number of duck-days using the method of Dennis & Chandler (1974). This value was produced by averaging results from each pair of phenologically successive surveys, multiplying by the number of intervening days, and summing over the entire period of the spring, summer or fall. Spring was considered to start on April 1, when it was assumed that no ducks were present, and extend to June 1. Because of the lack of data for early June and evidence from casual observation that

there was little shift in utilization during the month, the June 1 results were assumed to be equal to those from the first survey in June or early July. Summer covered the period from June 1 to August 15 whose count is assumed to be that of the nearest survey. Fall ran from August 15 to zero points on November 1 (Cape, Winisk and Severn zones) and November 15 (Moose, Kapiskau and Swan zones). The unit of usage intensity was the mean daily duck count per kilometre of shoreline and was calculated by dividing total duck-days by the product of the zone's length (in km) and season length (in days); for this calculation the fall season was assumed to cover 92 days.

Black scoters (*Melanitta nigra*) also occurred in large numbers along the James and Hudson Bay coasts. A photographic inventory was made of moulting flocks of that species on July 26 and 27, 1977 (Ross, unpublished). More frequent counts were made of the flock at Longridge Point (Ross, unpublished) and from those a profile of seasonal abundance was constructed. Applying that distribution to the results of the major survey, levels of utilization in duck-days were again calculated.

### Results and discussion

Table II presents yearly duck-day totals for each survey zone and shows that dabblers predominated, accounting for 69.5% of all duck-days. Within this group the follow-

TABLE I  
Timing and coverage of aerial surveys

Date	Zone covered	Aircraft type
June 18-21, 1976	Kapiskau, Swan, Winisk (part.)	Bell 206
August 24-26, 1976	All zones	Cessna 337
October 3-7, 1976	All zones	DHC Otter
April 26, 1977	Moose, Kapiskau	Hughes 500
May 17-18, 1977	All zones	Cessna 337
July 26-28, 1977	All zones	DHC Otter
August 15-18, 1977	All zones	DHC Otter
August 28, 1977	Moose, Kapiskau (part.)	DHC Otter
October 3-6, 1977	All zones	DHC Otter
May 16-18, 1978	All zones	Cessna 337
June 27-29, 1978	Moose, Kapiskau (part.)	Bell 206
July 3-7, 1978	Moose, Kapiskau (part.)	Bell 206
September 14-19, 1978	All zones	Piper Apache
October 2-8, 1978	All zones exc. Cape (part.)	DHC Otter
July 12, 1979	Kapiskau (part.), Swan, Cape (part.)	Hughes 500
October 1-3, 1979	All zones exc. Severn (part.)	DHC Otter

TABLE II  
Yearly levels of duck use of the James  
and Hudson Bay shorelines of Ontario

Zone	Duck-days (1000's)		
	Dabblers	Divers	Both
Moose	2,122.9	134.2	2,257.1
Kapiskau	4,626.1	36.3	4,662.4
Swan	960.3	1,213.6	2,173.9
Cape	401.2	718.3	1,119.5
Winisk	435.1	12.1	447.2
Severn	791.2	1,976.7	2,767.9
TOTAL	9,336.8	4,091.2	13,428.0

ing were the dominant species: black duck (*Anas rubripes*), 33.8%; northern pintail (*A. acuta*), 25.6%; green-winged teal (*A. crecca*), 23.6%; mallard (*A. platyrhynchos*), 11.8%; American wigeon (*A. americana*), 5.1%. Small numbers of blue-winged teal (*A. discors*) and northern shoveler (*A. clypeata*) were also recorded. Although dabblers were common in all zones, 82.6% of the usage by those species occurred in the three most southerly zones.

The remaining 30.5% of total duck usage was contributed by divers of which the black scoters comprised over 98%; scaup (*Aythya spp.*), common goldeneye (*Bucephala clangula*) and mergansers (*Mergus spp.*) were occasionally noted. Concentrations of divers occurred most notably in the Swan, Cape, and Severn zones where large flocks of moulting black scoters traditionally gathered (Bellrose, 1976).

Figure 2 illustrates the overall distribution of duck utilization through graphs of mean daily counts per km of shoreline for dabblers and divers for each season and zone. These can be considered as standardized measures of usage intensity, thus allowing for interzonal and interseasonal comparisons. Statistical tests have not been used and instead only the most broad patterns apparent are described.

During the spring, usage intensities by dabbling ducks were low (2.6 – 11.0 ducks/km) in comparison with those of the other seasons and showed a relative decline in the more northerly zones. Such results suggest that dabblers migrated rapidly and that relatively little staging occurred. The more southerly zones received the greatest use as

they were the first ones encountered by the migrants and their coastal marshes thawed earlier than those zones to the north. The usage intensity by diving ducks was very low (maximum 1.2 ducks/km) during the spring suggesting a rapid dispersal of the breeding birds; as well, the relatively late migration of the bay ducks and scoters might have continued into the summer survey period.

A considerable shift in waterfowl distribution occurred as the summer progressed. Usage intensities rose in almost all cases as the post-breeding ducks returned to the coast from nesting areas. Highest concentrations of divers were noted in the Severn, Cape and Swan zones (80.3, 26.1, 84.8 ducks/km resp.) and were due to the formation of dense flocks of black scoter offshore (88,700 on July 26 and 27, 1977; Ross, unpublished). The reasons for the summer distribution of black scoters remain obscure but might relate to patchy breeding range, as yet undetermined, and to the distribution of the invertebrates on which the scoters feed. Of the dabblers, highest usage intensities (13.3 ducks/km) occurred in the Severn zone where the northern pintail made up 57% of the ducks summering there. The pintails formed large moulting flocks on the brackish coastal ponds, some of which contained over 300 birds (J.P. Prevett, pers. comm.). The ponds provided ideal protection for flightless ducks as they were large (often exceeding 2 ha) and had dense borders of willow (*Salix spp.*); moreover the ponds were rich in protein sources including aquatic invertebrates such as corixids (*Trichocorixa sp.*) and submergent vegetation such as *Potamogeton spp.* and *Zanichellia palustris* (Ross, unpublished). Given its heavy usage by moulting pintails, the Severn zone would appear to rank in importance with the major prairie moulting sites such as Lake Winnipeg (Palmer, 1976) and the Peik-Kutawagan Marsh (Bellrose, 1976).

The James Bay zones held moderate numbers of dabbler during the summer and these were composed mostly of flying birds gathering to stage on the coastal marshes along that shoreline. Low usage intensity (4.9 ducks/km) by dabblers in the Cape zone might be due to limited suitable moulting sites and the relatively narrow coastal marshes. The large marsh at Cape Henrietta Maria held relatively few dabblers leading one to speculate that competition and/or habitat modification by the snow goose

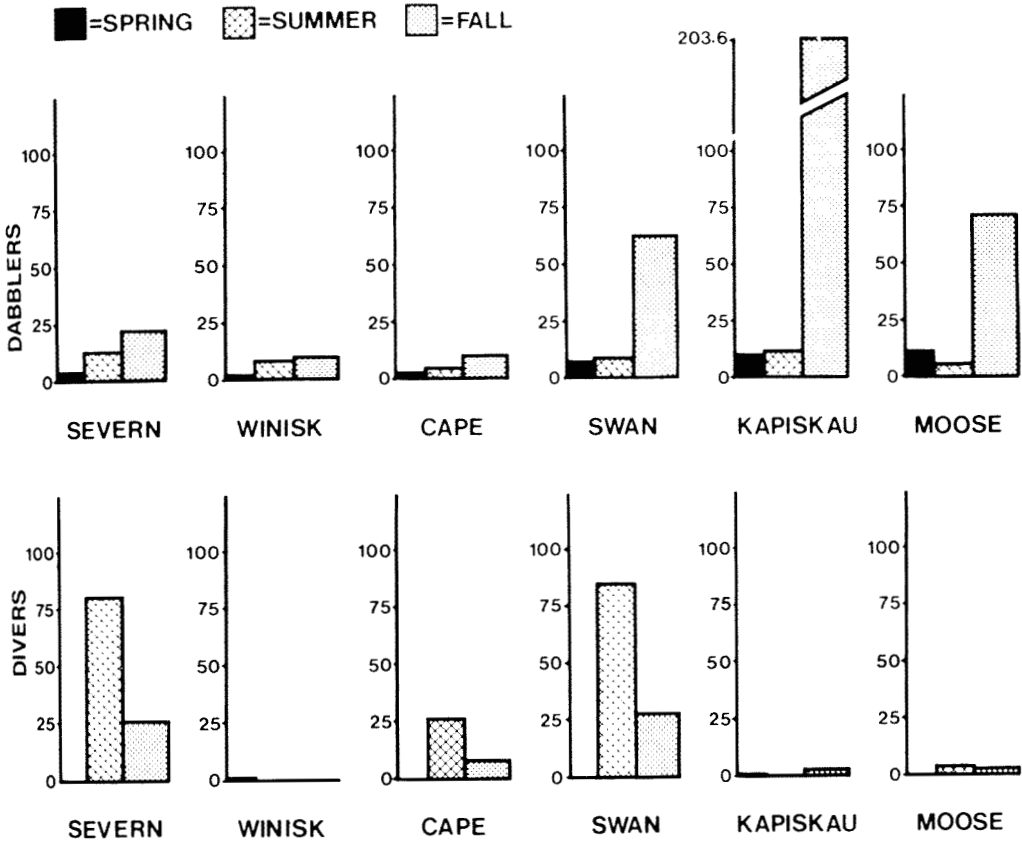


Figure 2. Intensity of usage by ducks (mean daily number/km of shoreline) of the six survey zones along the northern coast of Ontario.

colony located there might limit usage of the area by ducks.

By the fall, dabbling usage intensities increased considerably in all zones, particularly in James Bay. Most notable was the Kapiskau zone where fall usage (4,271,100 duck-days) represented 46% of the total dabbling utilization of the northern coast of Ontario. The generally elevated usage levels in all zones were likely due to the staging of dabblers as contrasted with their rapid transit in the spring. The very high counts in James Bay probably reflected good foraging opportunities on the extensive coastal marshes, the funnelling effects of James Bay on the migration, and the more extended period of open water in the southerly zones. Overall diver numbers declined in the fall in all zones because of the departure of the black scoters, although relative distribution among zones appeared to change little.

The northern shore of Ontario is clearly of great importance to post-breeding ducks,

either during the moult or when staging, and bears consideration from the viewpoint of environmental impacts. Of the species which moult along the shore, the black scoter is the most abundant and may number in excess of 250,000 individuals using fairly limited sections of the coast. As they gather in dense, relatively immobile flocks in the open bay, the black scoters are particularly susceptible to oil spills which can only become more likely with the increasing pace of development in the region and the probability of renewed petroleum exploration. Staging activity by dabblers occurs in the fall and is heaviest in the Kapiskau zone which supports dabbling numbers of a magnitude exceeded only by areas such as Lake St. Clair and Long Point in southern Ontario. The Great Lakes coastal zone of approximately 600 km including Lake St. Clair and Long Point and the intervening shoreline accumulated 9,764,700 dabbling-days in the fall (Dennis, North & Ross, unpublished) as against 6,050,600 dabbling-days along the 500

km of shoreline of the Kapiskau and Moose zones. Furthermore, the James Bay shore is also used by large numbers of geese (Bellrose, 1976) and shorebirds (Morrison & Harrington, 1979) emphasizing the national, if not international, importance of that coast. As the preferred broad marsh is undoubtedly influenced by major rivers, such as the Albany and Attawapiskat, proposals for hydroelectric dams along those rivers, which could upset factors such as silt loads and seasonal flow rates, are cause for concern. Such activities could be potentially disastrous for staging birds that rely on the resources of the coastal marsh.

While this paper documents the general patterns and intensities of duck utilization of the northern coast of Ontario, the reasons for such distributions can only be suggested. Given the marked importance of some of the coastal zones, future work should emphasize the mechanisms of habitat selection through studies of feeding habits, time budgets and energy requirements, so that impacts of proposed developments can be accurately predicted and deleterious effects effectively and economically avoided.

### Acknowledgments

I would like to thank the following people who have participated in the survey as observers: R. M. Alison, F. G. Cooch, P. Dupuis, G. H. Finney, R. I. G. Morrison, N. R. North, S. J. O'Donnell, K. B. Switzer, P. S. Taylor and D. A. Welsh. Capable assistance in data analysis was provided by P. A. Angehrn, and P. Fournier. I am also very grateful to P. Prevett of the the Ontario Ministry of Natural Resources for arranging space for CWS observers on goose productivity survey flights.

### References

- BELLROSE, J. C., 1976. Ducks, geese and swans of North America. 2<sup>nd</sup> ed. — Stackpole Books, Harrisburg, Pa., 544 p.
- COOCH, F. G., 1961. Ecological aspects of the blue-snow goose complex. — *Auk*, 78: 77-89.
- COOKE, F. & F. G. COOCH, 1968. The genetics of polymorphism in the goose *Anser caerulescens*. — *Evolution*, 75: 483-490.
- DENNIS, D. G. & R. E. CHANDLER, 1974. Waterfowl use of the Ontario shoreline of the southern Great Lakes during migration. — Pages 58-65 in H. Boyd (ed.). Canadian Wildlife Service waterfowl studies in eastern Canada, 1969-1973. Can. Wildl. Serv. Rep. Ser., no. 29, 106 p.
- HANSON, H. C., H. G. LUMSDEN, J. J. LYNCH & H. W. NORTON, 1972. Population characteristics of three mainland colonies of blue and lesser snow geese nesting in the southern Hudson Bay region. — Ontario Fish Wildl. Res. Br., Res. Rep. (Wildl.), no. 92, 38 p.
- LUMSDEN, H. G., 1959. The status of waterfowl in the Cape Henrietta Maria region. — *Trans. NE. Wildl. Confs*, 10: 156-164.
- MANNING, T. H., 1952. Birds of the west James Bay and southern Hudson Bay coasts — *Bull. natn. Mus. Can.*, no. 125, 114 p.
- MORRISON, R. I. G. & B. A. HARRINGTON, 1979. Critical shorebird resources in James Bay and eastern North America. — *Proc. 44<sup>th</sup> int. Wildl. Nat. Res. Conf.*, p. 498-507.
- PALMER, R. S. (ed.), 1976. *Handbook of North American birds*, Vol. 3. — Yale University Press, New Haven, 560 p.
- PECK, G. K., 1972. Birds of the Cape Henrietta Maria region, Ontario. — *Can. Fld Nat.*, 86: 333-343.
- PENNANT, T., 1785. *Arctic zoology*. Vol. II, Birds. — London, p. 186-599.
- PREVETT, J. P., I. F. MARSHALL & V. G. THOMAS, 1979. Fall foods of lesser snow geese in the James Bay region. — *J. Wildl. Mgmt*, 43: 736-742.
- RAVELING, D. G. & H. G. LUMSDEN, 1977. Nesting ecology of Canada geese in the Hudson Bay lowlands of Ontario: evolution and population regulation. — *Ontario Min. Nat. Res. Fish & Wildl. Res. Rep.*, no. 98, 77 p.
- RICH, E. E. (ed.), 1949. James Isham's observations on Hudson Bay, 1743. — *Champlain Society*, Toronto, 352 p.

## THE STATUS OF POLAR BEARS IN ONTARIO<sup>1</sup>

J. P. PREVETT

*Ontario Ministry of Natural Resources  
Box 190, Moosonee, Ontario P0L 1Y0*

and

G. B. KOLENOSKY

*Ontario Ministry of Natural Resources  
Box 50, Maple, Ontario L0J 1E0*

### Résumé

Depuis 1963, il y a des recensements aériens annuels des ours polaires (*Ursus maritimus*) le long de la côte ontarienne de la baie d'Hudson et de la baie James. Ces recensements sont faits à la fin d'août et au début de septembre quand tous les ours sont sur la rive. La côte et les îles de Cape Henrietta Maria (82°15' O.) à Brant River (83°00' O.) et les parages de la frontière Manitoba-Ontario sont les aires d'estivage les plus importants (68% de tous les ours recensés). Les changements de distribution observés en octobre quand il y eut deux inventaires suggèrent une migration automnale de l'ouest vers l'est.

Il semble que la population s'accroisse, mais la présence d'un nombre indéterminé d'ours en dehors de l'aire de recensement et les fortes fluctuations annuelles rendent impossible une estimation sûre. À l'aide d'informations publiées, du nombre de femelles aux tanières et du nombre d'oursons par femelle, on évalue la population entre 376 et 434 ours. Les populations d'ours des côtes du Manitoba, recensées depuis 1967 fluctuent également mais en sens inverse de celles de l'Ontario, ce qui expliquerait les fortes variations annuelles des recensements en Ontario. Si cette hypothèse était vérifiée, la politique actuelle d'aménagement de l'ours polaire au sud de la baie d'Hudson devrait être réévaluée.

### Abstract

Since 1963 the Ontario Ministry of Natural Resources has conducted yearly aerial censuses of polar bears (*Ursus maritimus*) along the Ontario coast of Hudson and James Bays. Surveys are done in late August-early September when all bears are on shore. The coast and offshore islands from Cape Henrietta Maria (82°15' W) to the Brant River (83°00' W), and the vicinity of the Ontario-Manitoba border are the most important summering areas, holding an average of 68% of total bears counted. Changes in distribution in October in years when two surveys were done suggest a west to east movement during the fall. The population appears to have increased since the surveys were initiated. However, the presence of an unknown number of bears off the surveyed coastal strip and strong year to year fluctuation of counts ( $\bar{x}$  = 53% between successive years) precludes a firm estimate of total numbers. A rough population estimate of between 376 and 434 is derived from numbers of females denning and cubs produced, together with published information from other areas. The Manitoba coast has been surveyed since 1967 and numbers there fluctuate as mirror images of Ontario totals. This suggests substantial inter-year exchange of bears and presumably explains the variability in Ontario counts. If our evidence for movement of bears is correct, the concept of discrete management units in the southern Hudson Bay-James Bay area may be invalid.

<sup>1</sup>Contribution no. 81-10 of the Wildlife Research Section, Ontario Ministry of Natural Resources.



## Introduction

The Ontario coast of Hudson and James Bays is among the most southerly regularly inhabited ranges of the polar bear in the world. Most of the Hudson Bay coast has been designated as a discrete management zone (zone A<sub>2</sub>) by the Administrative Committee for Polar Bear Research and Management; a smaller area lies within the adjacent zone A<sub>3</sub> (Fig. 1). The Committee coordinates polar bear research and management in Canada as part of Canadian responsibilities under the International Agreement on the Conservation of Polar Bears, signed with the four other nations with polar bear populations in 1973 and ratified in 1976.

To fulfill provincial obligations, Ontario has attempted to limit and monitor the kill of polar bears (which can be taken only by Treaty Indians), regulate the sale of hides, determine yearly productivity of bears by denning surveys (Kolenosky & Prevet, in press), and monitor trends in numbers and distribution of bears in late summer. This paper summarizes results of the latter surveys.

## Materials and methods

Polar bears start to come ashore in early July as the sea ice disintegrates. We assumed that all bears in James and southern Hudson Bays were on land by mid-August since at that time the remaining sea ice was highly fragmented (Sowden & Geddes, 1980). Surveys were initiated in 1963 and have been done each year to the present. During the last week of August or first week of September the coastline, offshore shoals and islands were thoroughly searched by air from just south of Hook Point on northern James Bay to the Manitoba border (Fig. 1). The flights were extended along the Manitoba coast to Anabusko Island (57°05' N, 90°10' W) in all but two years. The east and north shores of Akimiski Island were covered in eight years since 1967. Survey flights were repeated later in the season (21 September-8 October) during 8 of the 18 years.

Surveys were carried out in a De Havilland turbo-Beaver or other aircraft flown at an altitude of 150 to 200 m. Observers were located on both sides and observations of all bears visible from the aircraft were plotted on

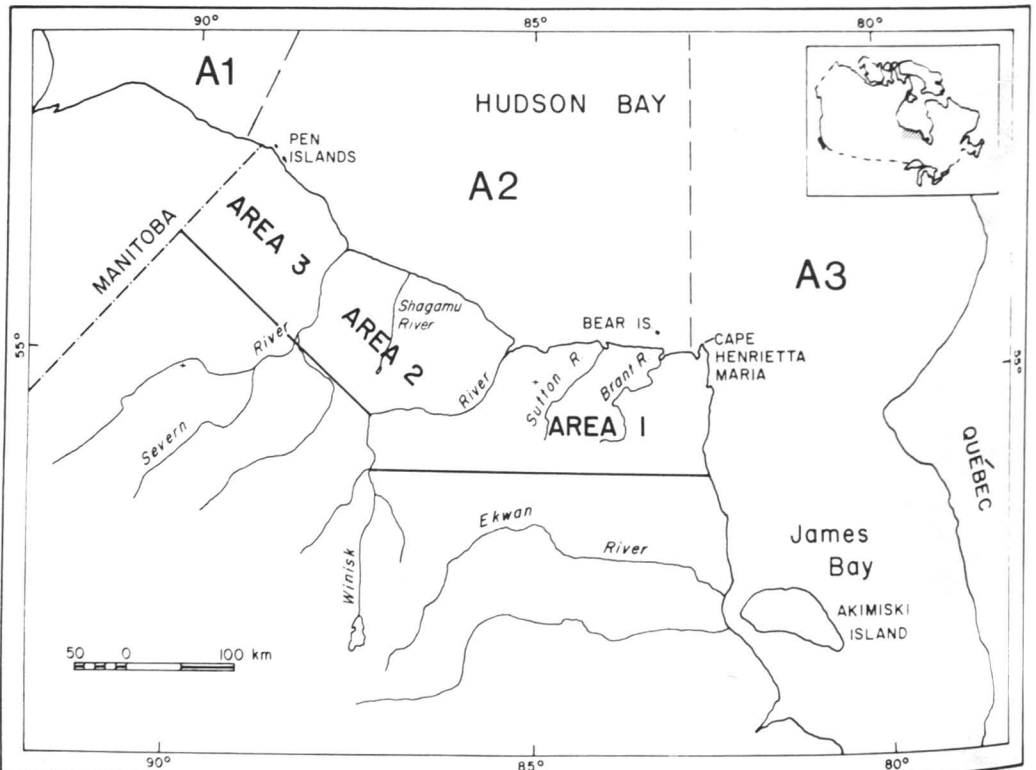


Figure 1. Ontario coastline of Hudson and James Bays surveyed annually for polar bears, 1963-1980.

1: 250,000 maps. We estimated that nearly all bears within one kilometre of the shoreline were sighted.

Since 1967 the province of Manitoba has conducted similar surveys along the Manitoba coast of Hudson Bay, usually within a week of the Ontario counts. Data from the Manitoba surveys, provided by Richard Robertson and Stephen Kearney, have been compared and combined with Ontario results.

Statistical tests follow Sokal & Rohlf (1969). The conventional probability level of 0.05 is used to denote statistical significance.

## Results and discussion

### LONG TERM TRENDS IN NUMBERS

Both Ontario and Manitoba counts showed wide annual fluctuations. However, much of the oscillation was removed when totals were combined. Overall, the data indicated an essentially steady increase in numbers (Fig. 2) ( $r = 0.93$ ,  $P < 0.001$ ). Despite the fluctuations, both Ontario and Manitoba counts show a trend of increasing numbers of bears ( $r = 0.68$ ,  $P < 0.01$  and  $r = 0.64$ ,  $P < 0.05$ , respectively).

An important feature of Figure 2 is that totals for Ontario and Manitoba fluctuated virtually as mirror images. In 12 of the 13 comparisons between the two areas, changes in count totals from one year to the next occurred in opposite directions that is when Manitoba counts increased, numbers declined in Ontario (and vice versa). In a long-lived species with low natality and mortality like the polar bear, changes of that magnitude are clearly impossible. We interpret the observed patterns to indicate regular and sizeable interchange of bears between Manitoba and Ontario, and an increasing population overall.

### DISTRIBUTION OF BEARS

Although bears were observed along the entire coastal strip, their distribution was not uniform. Stretches of coastline with points, peninsulas, offshore islands, and well-developed raised beaches were favoured summering sites. The coast and islands from Cape Henrietta Maria to just west of the Brant River and a 50 km stretch of coast centered around the Pen Islands adjacent to the Manitoba border were the main areas of

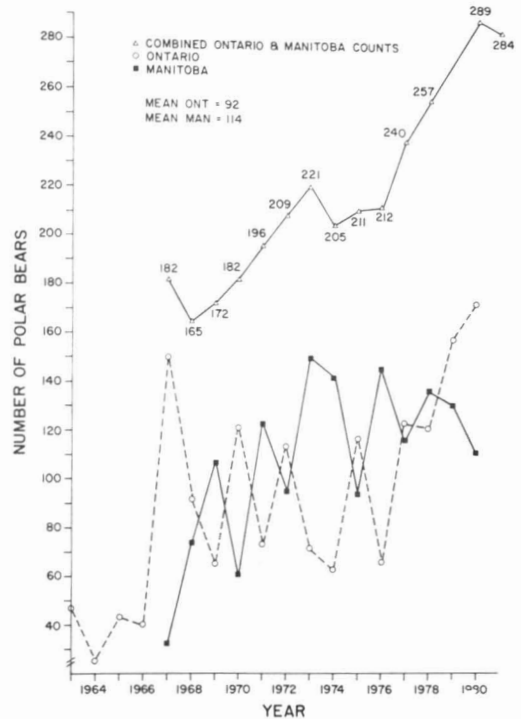


Figure 2. Annual counts of polar bears in Ontario and Manitoba during late summer coastal surveys.

concentration (Fig. 1). These two areas comprise approximately 30% of the surveyed shoreline but held an average of 68% of all bears counted. Up to 36 bears were counted on a single island of approximately 12 ha off the mouth of the Brant River. The region between the Sutton and Severn rivers regularly contained the lowest density of bears.

Considerable inter-year variation occurred in the average distributional pattern described above. The proportion of bears in the Cape Henrietta Maria segment varied from 51% of the total count in 1977 to 17% in 1969; around the Pen Islands the range was 57% (1978) to 13% (1967). Up to 92% (1964) and as little as 54% (1970) of the total annual count occurred in the two areas together. This variability in distribution further illustrates the mobility of polar bears in southern Hudson Bay.

### VARIATION OF COUNTS WITHIN YEARS

Flights over the same stretch of coastline, sometimes within a short time span, frequently found substantially different numbers of polar bears. A good example is a series

of flights between Winisk and Fort Severn in 1978. On 17 July, no bears were present but on 5 and 10 August, 39 and 59 bears, respectively, were seen between the Winisk and Shagamu rivers (75% of the total distance) (G. Wickware, pers. comm.). On 7 August, B. Godby (pers. comm.) counted 45 bears along the coast between Winisk and Fort Severn. During the regular survey on 8 September, we found only 30. These observations probably documented the onshore movement of bears and their subsequent dispersal to more preferred summering locations as a consequence of ice breakup in Hudson Bay. However, considerable daily movement not associated with ice disappearance may also occur. For example, on 31 August 1967, Kolenosky did not see 21 of 84 bears that he had counted only two days earlier between Cape Henrietta Maria and Winisk.

Daily wanderings of bears on and off the coastal strip appeared largely responsible for observed within-year variations. Discrepancies caused by differing visibility or observer ability were probably minor because white polar bears are usually readily visible except under the most adverse conditions against the snow-free landscape which prevails at that time of the year. Bear movement as affected by temperature and tide level, among other factors, are thought to account for similar short term variation in counts in Manitoba (S. Kearney, pers. comm.).

Lateral movement along the Hudson Bay coast during the summer and fall may be quite extensive. Results of regular and late surveys are compared in Table I. The proportions of bears present in the three areas varied both among years and between time periods in the same year. In seven of the

TABLE I

Numbers and distribution of polar bears in Ontario during late summer and fall surveys

Year	Regular <sup>a</sup>				Late <sup>a</sup>			
	Total counted	% bears in area <sup>b</sup>			Total counted	% bears in area <sup>b</sup>		
		1	2	3		1	2	3
1963	47	36	15	49	47	47	9	45
1964	25	48	0	52				
1965	43	33	7	61	46	52	4	43
1966	40	37	10	53	48	75	0	25
1967	150	56	27	17	111	68	16	16
1968	91	38	24	37	109	34	8	58
1969	65	28	14	58	115	48	8	44
1970	121	48	6	46				
1971	73	42	15	42				
1972	114	55	15	30	101	72	0	28
1973	71	41	22	37				
1974	63	51	17	32				
1975	117	59	16	25				
1976	66	53	11	36	106	76	12	11
1977	123	61	8	31				
1978	121	24	25	51				
1979	158	54	20	27				
1980	173	54	12	34				
Total	1661	48%	16%	36%				
Mean no.	92.3	44.1	14.7	33.4				
St. Dev.	43.9	27.6	10.8	13.8				
Total (8 years)	616	46%	18%	37%	683	59%	8%	33%
Mean no.	77.0	35.1	13.6	28.3	85.4	50.4	6.9	28.1
St. Dev.	38.9	25.7	12.5	6.2	32.0	23.8	6.5	18.8

<sup>a</sup> Regular counts were done from 23 August to 9 September except in 1968 when the survey was carried out on 14-15 August. Late surveys were done from 21 September to 8 October.

<sup>b</sup> See Figure 1.

eight years in which two surveys were carried out, the proportion of bears was lower in area 2 (average of 47%) and area 3 (16%) and higher in area 1 (49%) during the later survey. Differences in proportions were statistically significant only between areas 1 and 2 ( $P < 0.05$ ). Total bears counted on the two surveys, however, were similar ( $P > 0.5$ ).

This picture of changing distribution but essentially unchanging numbers suggests west to east movement of bears out of areas 2 and 3 into area 1 between survey periods (Fig. 1). Alternatively, it is necessary to hypothesize that bears from areas 3 and 2 left the survey area while bears came into area 1 from outside the survey area. Possibly both types of movement occurred. Some pregnant females and other bears would have been moving inland at this time to find denning sites, particularly in area 2 and to a lesser extent in areas 1 and 3 (Kolenosky & Prevett, in press). It is also probable that other bears were travelling to headlands and islands in the Brant River-Cape Henrietta Maria area (Area 1) where landfast ice might form earliest in winter. While some of these could have been inland during the summer, it is probable that substantial movement along the coast also took place. If so, some bears must have moved distances of 150 km or more. Similar movement patterns occur in Manitoba (Stirling *et al.*, 1977).

#### FEMALES WITH YOUNG

The late summer survey always accounted for only a small portion of females known to have produced cubs in the province. From 1974 to 1978, an average of 36 and a minimum of 18 females took cubs onto the sea ice in February and March (Kolenosky & Prevett, in press). In the following summers, however, the average number of females accompanied by young (cubs, yearlings and 2 year olds could not always be differentiated) was just 6.8 (range of 1 to 14). In Manitoba, S. Kearney (pers. comm.) found that females with young often travelled to inland denning areas after coming ashore in summer. Although we did not survey denning areas in Ontario in summer, similar movements could have occurred. Sightings of females with young during summer surveys were almost invariably made on otherwise unoccupied stretches of coast or on beaches one or more kilometres back from the sea edge, from which it appeared that they were avoiding other bears (Stirling, 1974).

Although it often proved difficult to separate cubs of the year and yearlings, litter size in 14 cases of fairly definite identification of cubs was 1.73 (regular and late surveys combined for all years). That represented a 12% decline from observations made when females left their dens in late February-early April. The decrease is probably greater than indicated since in the absence of individually marked animals the loss of entire litters could not be detected.

#### AKIMISKI ISLAND

The coast of Akimiski Island, N.W.T., in James Bay was surveyed several years when time and circumstances permitted (Table II). The island is perhaps the most southerly regular summering location in the world. Counts of bears varied annually, but the overall trend was stable. The proportion of females and young consistently exceeded values recorded along the Ontario Hudson Bay coast. The reason for this is unknown, although perhaps in view of smaller numbers there, females with young were more apt to summer near the shoreline and thus be visible from the aircraft than in the more densely occupied sections of the Hudson Bay coast.

#### NUMBERS OF POLAR BEARS IN ONTARIO

At the present time, the provincial polar bear population can be estimated only within broad limits since neither the summer nor denning surveys give total numbers. Our estimate of between 376 and 434 bears was derived from data from the denning surveys (Kolenosky & Prevett, in press), supplemented

TABLE II

Late summer and fall counts of polar bears on Akimiski Island, N.W.T.

Year	Date	Total bears	Females with young	
			Females	Young
1967	13 September	6	1	1
1968	30 September	15	5	8
1972	4 October	10	2	2
1973	5 September	12	3	5
	28 October	20	3	6
1975	5 September	12	3	5
1976	26 August	13	3	4
1979	31 August	6	1	2
1980	3 September	17	4	8
	$\bar{x}$	12.3	2.8	4.6

TABLE III

An estimate of the average number of polar bears in Ontario in the mid 1970's

	Adult females	Young bears	Adult males
A. Females reproduce every 3 years :			
36 with 71 cubs			36
32.4 with 56.8 yearlings			32.4
29.2 with 45.4 2 year olds			29.2
		36.3 3 year olds	
		29.1 4 year olds	
Totals	97.6	238.6	97.6 = 434
B. If females reproduce every 2 years, there are no females accompanied by 2 year olds and no corresponding adult males for this component. The population estimate becomes 434 - 58 = 376 bears. If half of adult females breed every other year, and half every third year, the population is 405.			

#### Assumptions

1. Population is stable: immigration equals emigration.
2. Females first give birth at 5 years (Stirling *et al.* 1980, I. Stirling, pers. comm.).
3. Females breed (A) once every 3 years (Stirling *et al.* 1976, 1980) or (B) every other year (I. Stirling, pers. comm.).
4. Sex ratio at all ages is equal.
5. Mortality of mature males and females is equal and averages 10% (Stirling *et al.*, 1976).
6. Mortality of all sexually immature bears is 20%.

with information from other studies. Table III shows calculations and lists assumptions. An average of 36 adult females produced an average of 71 cubs (mean litter size of 1.96) between 1974 and 1978 in Ontario (Kolenosky & Prevett, in press). In most areas, females breed once every three years (Stirling *et al.*, 1980); hence, currently nonbreeding females are shown as still accompanied by yearlings or two year olds. The number of adult females, then, is the number observed with cubs plus those which had bred in the previous two years. The number of the latter has been reduced by an amount corresponding to average annual mortality. A 1:1 sex ratio was assumed so that for every adult female there is an adult male. Since most females in the region first give birth at five years of age (Stirling *et al.*, 1980, I. Stirling, pers. comm.), independent three and four year olds are listed as separate components. Preliminary data indicate that some female polar bears in the southern Hudson Bay area may reproduce as fre-

quently as every other year (I. Stirling, pers. comm.). Hence, few females may be accompanied by two year olds. Both possibilities are considered in Table III.

#### MANAGEMENT IMPLICATIONS

In tagging and radio tracking studies in southern Hudson and James Bays, no movement of polar bears between Ontario and Manitoba was detected; some interchange between James and lower Hudson Bay islands and the adjacent Ontario coast occurred (Jonkel *et al.*, 1976; Stirling *et al.*, 1977). This was the basis for separating management zones A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub> at the Ontario-Manitoba border and zones A<sub>2</sub> and A<sub>3</sub> near the Sutton River. Although indirect, evidence from summer surveys in Ontario and Manitoba presented in this paper suggests that sizeable interchange of bears does occur. Our data also indicate regular seasonal eastward movement from zone A<sub>2</sub> to A<sub>3</sub>. The above authors pointed out that since relatively few bears were marked in the area from Cape Churchill to the Sutton River, the likelihood of detecting movements of bears in that area was reduced. If our conclusion of substantial interchanges is correct, the concept of discrete management zones on the southern Hudson Bay coast, or at least the locations of present boundaries, is invalid. The apparent unreliability of current information points out the desirability of additional marking projects to clarify the relationships of polar bears in the region, and also to permit an independent population estimate.

Using a population estimate of 405 for Ontario (Table III), and assuming a permissible kill of 5% (Stirling *et al.*, 1976), 20 bears could be taken each year. With strict controls on age and sex categories taken, this figure possibly could be somewhat higher. Since 1970 the known average yearly kill in the province (restricted to Treaty Indians) has been 18 (Table IV). The provincial quota, however, is 30 bears. With present uncertainty about the size and discreteness of the Ontario population, it is impossible to determine whether the current kill has allowed the bear population to increase, or if shifts in distribution are responsible. Similarly, it is not known if a yearly kill of 30 would depress the population, or what effects that kill might have on the population in other jurisdictions. Clearly the desirability of more intensive study is indicated.

TABLE IV

Known kill of polar bears in Ontario since 1970 (Figures are based on hides sealed for sale, known unsealed kills and cubs captured)

Year <sup>a</sup>	Total kill	Sealed	Not sealed
1970-71	14	12	2
1971-72	23	19	4
1972-73	9	9	—
1973-74	27	27	—
1974-75	15	11	4
1975-76	17	15	2
1976-77	21	21	—
1977-78	16	16	—
1978-79	19	19	—
1979-80	22	22	—
$\bar{x}$	18.3	17.1	1.2

<sup>a</sup> From 1 July to 30 June of the following year.

If the estimate of 376-434 polar bears in Ontario is fairly accurate, the late summer survey has never accounted for more than 46% of the population. In any case, it is obvious that a large proportion is missed on this survey. Given the fluctuating nature of counts (Fig. 2), it is also unclear whether they provide worthwhile trend information. Taken together, however, counts in Ontario and Manitoba smooth the fluctuations, and appear to reflect population trends. Thus, surveys in the two provinces should be coordinated as to timing and methodology. Since studies have demonstrated movement of bears between Cape Henrietta Maria and James and lower Hudson Bay islands (Jonkel *et al.*, 1976), it would also be advantageous to extend coverage to those islands and even the Québec coast.

Although it is desirable to know how many bears are inland off the surveyed zone in summer, we consider it impractical to attempt surveys in the interior. A promising line of research would be to relate patterns of ice breakup in summer and formation in fall in southern Hudson and James Bays to observed fluctuations in the summer counts.

## Acknowledgments

R.O. Standfield was instrumental in initiating the summer surveys. We are grateful to the many observers and pilots who assisted on the surveys. Fred Johnson was especially helpful in many ways. Several people kindly allowed us to use data: G. Wickware, B. Godby and particularly Richard Robertson and Stephen Kearney of the Manitoba Department of Natural Resources. N. Carter drafted the figures. We thank I. Stirling and R.I.G. Morrison for helpful comments on the manuscript.

## References

- JONKEL, C., P. SMITH, I. STIRLING, & G.B. KOLENOSKY, 1976. The present status of the polar bear in the James Bay and Belcher Islands area. — *Can. Wildl. Serv. Occ. Paper*, no. 26, 42 p.
- KOLENOSKY, G.B. & J.P. PREVETT (in press). Productivity and maternity denning of polar bears in Ontario. — *Proc. 5<sup>th</sup> International Conf. on Bear Research and Management*, Feb. 1980, Madison, Wisc.
- SOKAL, R.R. & F.H. ROHLF, 1969. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. — W.H. Freeman, San Francisco, Cal., 776 p.
- SOWDEN, W.J. & F.E. GEDDES, 1980. Weekly median and extreme ice edges for eastern Canadian seaboard and Hudson Bay. — *Atmospheric Envir. Ser.*, Environment Canada, Ottawa, Mimeo, 30 p.
- STIRLING, I., 1974. Midsummer observations on the behaviour of wild polar bears. — *Can. J. Zool.*, 52: 1191-1198.
- STIRLING, I., W. CALVERT, & D. ANDRIASHEK, 1980. Population ecology studies of the polar bear in the area of southeastern Baffin Island. — *Can. Wildl. Serv. Occ. Paper*, no. 44, 33 p.
- STIRLING, I., C. JONKEL, P. SMITH, R. RICHARDSON, & D. CROSS, 1977. The ecology of the polar bear (*Ursus maritimus*) along the western coast of Hudson Bay. — *Can. Wildl. Serv. Occ. Paper*, no. 33, 64 p.
- STIRLING, I., A.M. PEARSON, & F.L. BUNNELL, 1976. Population ecology studies of polar and grizzly bears in northern Canada. — *Trans. N. Am. Wildl. Nat. Res. Conf.*, 41: 421-430.



## REPRODUCTIVE BIOLOGY AND ECOLOGY OF FEMALE POLAR BEARS IN WESTERN HUDSON BAY

M. A. RAMSAY

Department of Zoology, University of Alberta  
Edmonton, Alberta T6G 2E9

and

I. STIRLING

Department of the Environment, Canadian Wildlife Service  
5320, 122 Street, Edmonton, Alberta T6H 3S5

### Résumé

Depuis 1966, plus de 900 ours polaires (*Ursus maritimus*) des parages de Churchill, au Manitoba, ont fait l'objet d'une étude portant sur la reproduction de cette espèce. La plupart des femelles conçoivent pour la première fois à l'âge de 4 ou 5 ans. La fécondité des femelles de 5-19 ans est de 0,603, soit le plus haut taux connu. Les périodes de reproduction sont en moyenne espacées de 3,2 ans. Plus de 40% des femelles se reproduisent à tous les deux ans. Soixante-dix-neuf pour cent des oursons d'un an capturés à l'automne ne sont pas accompagnés, ce qui laisse croire qu'ils furent sevrés à l'âge d'environ 1,5 an. Les femelles semblent utiliser seulement une petite partie de l'aire de mise bas. On ne peut rien conclure quant à la fidélité des femelles à l'égard des tanières.

### Abstract

Since 1966 more than 900 polar bears (*Ursus maritimus*) have been handled in the vicinity of Churchill, Manitoba to gain insight into their reproductive biology. Most females conceive for the first time at 4 or 5 years of age. The natality rate for females in the 5-19 year age group was calculated to be 0.603, higher than that reported for any other population. The mean minimum breeding interval was 3.2 years. More than 40% of the adult females bred every second year. The existence of 2 year breeding intervals was supported by the fact that 79% of yearlings captured in fall were unaccompanied by other bears, suggesting that they had been weaned at an age of about 1.5 years. Individual females appear to use only a limited portion of the large maternity denning area. No definitive statements can be made regarding the fidelity of females to discrete maternity den sites.

### Introduction

The polar bear (*Ursus maritimus*) inhabits the arctic circumpolar sea ice and preys mainly upon ringed seals (*Phoca hispida*) and bearded seals (*Erignathus barbatus*). Within Canada, polar bears are distributed in a series of relatively discrete populations, one of which is resident in western Hudson Bay (Stirling *et al.*, 1977). For several reasons, this population of polar bears is of particular interest: it is one of the most southerly in the world and, because the annual ice cover of Hudson Bay melts completely in summer, all the bears are obliged to spend several months each year (about mid-July to early November) on land with little or no access

to seals. While on shore the nutritional intake of polar bears appears limited, but quantitative data are lacking (Russell, 1975; Knudsen, 1978; Latour, 1981a). In addition to lower intake, the caloric content of the foods available in summer is significantly less than is available from a diet of seals (Best, 1976).

One might expect that any difficulties associated with lack of seals in the diet would be felt most acutely by pregnant females. They apparently come ashore in mid-July, like the rest of the population, but do not return to the ice in late fall. Instead they enter a maternity den around the end of October and give birth there in late December to mid-January. The nursing cubs of



the year weigh approximately 11 kg ( $N = 80$ ) by the time the family groups leave the den in late February or March, some 8 months after the females came ashore. Despite the apparent nutritional disadvantage, female polar bears in western Hudson Bay have one of the highest mean litter sizes known anywhere (Stirling *et al.*, 1977).

Most of the maternity denning in western Hudson Bay occurs each year in the same discrete area of about 6,000 km<sup>2</sup>. This is the only known area in North America where polar bear denning is so concentrated (Jonkel *et al.*, 1972; Stirling *et al.*, 1977), although similar areas have been documented on Wrangel Island and Svalbard (Uspenski & Kistchinski, 1972; Larsen, 1974). The reasons for pregnant females concentrating in denning areas and the ecological significance of the areas are incompletely known. The fidelity of individual female polar bears to specific maternity denning areas has not been documented anywhere although Jonkel *et al.* (1972) suggests that it may exist in western Hudson Bay.

This paper outlines some of our current research and presents some preliminary results. It appears that some aspects of the reproduction of polar bears in Hudson Bay may be sufficiently different from those in other areas to provide new insight into the reproductive ecology of the species.

## Materials and methods

### TAGGED POLAR BEARS

From the fall of 1966 through the spring of 1981, several studies, which have involved the tagging and recapture of polar bears, were conducted in Manitoba, particularly at Churchill (Stirling *et al.*, 1977; Latour, 1981a, 1981b). Methods of capture and types of data collected from immobilized polar bears were given by Stirling *et al.* (1977). Because of the number of different workers involved over the years, and the variation in their experience, not all the mark and recapture data are of equal value to this study. Nevertheless, because of the duration of the data set (16 years) and the number of captures or recaptures (922), we can begin to evaluate several specific questions about reproduction in polar bears.

### ESTIMATION OF REPRODUCTIVE PARAMETERS

Age-specific litter-produced rates, mean litter sizes and natality rates were calculated

as in Stirling *et al.* (1980). Only data collected between August and November were used in determining reproductive parameters, except where noted.

The breeding interval for females captured with more than 1 litter was calculated by determining the number of years that passed between the birth of each subsequent litter. A mean natality rate for adult females captured with more than one litter was calculated by dividing the total number of cubs sampled on the second and subsequent captures, by the sum of all the breeding intervals in years.

### MATERNITY DENNING AREA

The maternity denning area was approximately defined by a polygon bounded by latitudes 57° 30' and 58° 15' N and longitudes 93° 10' and 94° 10' W, encompassing an area of about 6,000 km<sup>2</sup>. Although we have no quantitative estimate, we suspect that within this area, suitable potential sites for maternity denning, as outlined by Jonkel *et al.* (1972), probably occur in less than 20% of the total area.

## Results and discussion

In total, 922 bears have been handled in Manitoba since 1966, including recaptures, deaths due to handling, and bears removed from the population. During this period, the intensity and distribution of effort have varied considerably. For example, of 132 bears captured in the denning area in February and March, 129 were caught in 1980 and 1981 during the course of the present study. As we have an incomplete understanding of the distribution of the bears through an annual cycle, we recognize that unknown biases may exist in the samples collected. As much as possible, we have limited comparisons to data collected at similar times of the year.

Table I gives the age and litter size of cubs accompanying female polar bears of each age class, that were captured or recaptured in the study area between August and November, 1966-1981. Table I also gives the mean litter sizes for females accompanied by cubs of the year and yearlings. These data were used to generate age-specific natality rates. From Table II, it appears that female polar bears in western Hudson Bay begin to breed at 4 or 5 years of age, as shown by the high natality rates

TABLE I

Age and litter size of cubs accompanying female polar bears of each age class captured or recaptured in western Hudson Bay (August-November, 1966-1981)

Age of female	Total no. in each age class	No. accompanied by cubs	Cub of the year litter sizes*			Yearling litter sizes**	
			1	2	3	1	2
3	31	0					
4	18	2	2				
5	10	6	5	1			
6	7	5	2	2		1	
7	18	13	5	4		1	3
8	7	5	2	1		1	1
9	10	8	4	2		2	
10	6	4	2	1			1
11	8	6	1	2	1		2
12	4	3	2		1		
13	5	5	2	2			1
14	5	3	1	1		1	
15	2	1			1		
16	2	1	1				
17	7	6	2	2	1	1	
18	1	1		1			
20	1	1		1			
30	1	0					

\* Mean litter size 1.52 (54 litters).

\*\* Mean litter size 1.53 (15 litters).

for bears of those ages. The low natality rates for 3 year olds suggest that few females give birth at that age. In contrast to females from southeastern Baffin Island (Stirling *et al.*, 1980), there was no indication of a lower natal rate in 5-year-old females, which suggests that the age of first reproduction of female polar bears in western Hudson Bay might be spread over a wider age span than in the southeastern Baffin Island population.

If some component of the female population was consistently undersampled due to spatial segregation by age or sex then the natality rates in Table II may be in error. Although spatial segregation of polar bears on land occurs during the summer and fall, it is at least partially understood (Stirling *et al.*, 1977) and we have no reason to believe that gross errors in sampling of the female component of the population have occurred in the captures made between August and November. Even with this caveat, the natality rate (0.603) for females aged 5-19 years is the highest recorded anywhere to date (Stirling *et al.*, 1978, 1980).

The mean litter sizes of 1.52 for cubs of the year and 1.53 for yearlings, calculated from the August to November captures (Table

I), were similar to those reported from other areas of the Arctic (Stirling *et al.*, 1978, 1980). However, in studies done at higher latitudes, populations have been captured on the sea ice in spring. If mortality in cubs of the year was significant between spring and autumn, then the mean litter size calculated from autumn captures would be lower than that calculated from spring captures. The mean litter size of 48 litters of cubs of the year in the spring was 1.94 compared to 1.52 in the fall (Table I), a difference which was statistically significant ( $t = 3.41$ ,  $P \leq 0.01$ ). Other data also indicate that mortality of cubs of the year occurs. A cub of the year was found abandoned in the denning area in March, 1981. Litters of triplet cubs of the year captured in spring showed a wide variation in the weights of siblings. A 2-fold range in the weights of litter mates was not uncommon. Usually two cubs were significantly larger than the third. We suspect that these smallest siblings, or "runts", experience a higher mortality rate.

Eleven tagged females were followed through 17 breeding cycles. The data indicated a mean breeding interval of 3.2 years and a natality rate of 0.54 (Table III) which was

TABLE II

Age-specific rate of litter production, mean litter size, and natality rate for female polar bears of western Hudson Bay, August — November captures, 1966-1980 (Sample sizes in parentheses)

<i>Age class of females in year bred</i>	<i>Age-specific rate of litter production</i>	<i>Age-specific mean litter size</i>	<i>Age-specific natality rate</i>
2	0.000 ( 49)	0.00 ( 0)	0.000
3	0.071 ( 28)	1.00 ( 2)	0.071
4	0.353 ( 17)	1.17 ( 6)	0.413
5	0.320 ( 25)	1.63 ( 8)	0.522
5- 9	0.371 ( 97)	1.44 (36)	0.534
10- 14	0.381 ( 42)	1.75 (16)	0.667
15- 19	0.450 ( 20)	1.67 ( 9)	0.752
20- 30	0.000 ( 1)	0.00 ( 0)	0.000
5- 19	0.384 (159)	1.57 (61)	0.603

fairly similar to the natality rate calculated for adult females in Table II. Note that the data in Table III give minimum values, because we cannot know if an individual had a litter in an intervening year in which it was not captured nor if a litter was lost prior to a capture. This is probably a source of error for bears with 4- and 5-year cycles. Consequently, we suspect that as we obtain more accurate data, the calculated mean breeding interval will decrease.

It should be noted that 41% of the cycles monitored were only 2 years long a duration rarely observed in other polar bear populations (Lønø, 1970; Lentfer, 1976). A 2-year breeding cycle would require females to abandon cubs as yearlings rather than as 2-year-olds. If 2-year breeding cycles are common then independent yearlings in the fall should also be common. Of the bears caught in the fall and aged as yearlings, 79% (60/76) were unaccompanied by other bears.

The minimum survival rate of these unaccompanied yearlings, as measured by their recapture rate at age 2 or older, was 30% (18/60) while that for yearlings accompanying adult females was 25% (4/16). Similarly, the mean weight of yearlings captured with their mother was not significantly greater than that of yearlings captured without their mother. Both lines of evidence suggest that polar bears in western Hudson Bay can achieve independence at 1 year of age.

No 2-year-olds have been captured accompanied by an adult female. How-

ever, if some cubs in western Hudson Bay are weaned at 2.5 years of age, as they are in other areas of the Arctic, they would no longer be with their mothers when mark and recapture studies are conducted in the fall. To date, we have no spring mark and recapture data from the sea ice habitat in Hudson Bay that we can compare to other areas.

The survival rate of cubs of the year, captured in autumn, until the following autumn appears high. The mean litter size of females with cubs of the year in autumn is not significantly higher than that of females with yearlings in autumn (Table I). Litter sizes of 3 known adult females captured in autumn with cubs of the year remained unchanged 1 year later when recaptured with yearlings.

There are few data available with which to evaluate the fidelity of adult females to specific den sites or denning areas anywhere in the range of the polar bear. To date 150 females have been located in or near the denning area south of Churchill. Of these, only 2 have been recaptured after an interval of one or more years. A 10-year old female was captured in a den of Fletcher Lake, Manitoba in November 1970. Seven years later in August 1977 she was recaptured 16 km to the southeast. In March 1980 she was recaptured with 2 cubs of the year approximately 3 km south of her 1970 location. A 9-year old female was captured in August 1977, approximately 5 km south of Skidmore Lake, Manitoba. Four

TABLE III

Minimum natality rates and maximum breeding intervals of 11 female polar bears captured with at least two different litters

Age of each female at start of cycles	No. of cycles of differing length (years)				Total	Period covered (years)	No. of cubs	Natality rate
	2	3	4	5				
3	3		1		4	10	4	0.40
4			1		1	4	1	0.25
5				1	1	5	3	0.60
5	1				1	2	2	1.00
7		1	1		2	7	2	0.29
7			2		2	8	6	0.75
7	1				1	2	2	1.00
9				1	1	5	3	0.60
9	1				1	2	2	1.00
11	1	1			2	5	2	0.40
17			1		1	4	2	0.50
Totals	7	2	6	2	17	54	29	0.537

Mean breeding interval = 3.2 years.

years later in March 1981, she was recaptured approximately 24 km to the northwest.

Although definitive statements cannot be made from such a small number of samples, we note that the greatest distance between captures was 24 km while the least was 3 km. Given that the denning region encompasses an area of approximately 6,000 km<sup>2</sup>, these distances between captures suggest that individual females may show some degree of fidelity to specific localities within the overall area.

We hope that continued mark and recapture effort in the denning region in spring, summer, and autumn will improve our understanding of the fidelity of adult females to specific sites and to the general area. Since 1969, 150 females of all ages have been captured in the denning area; 113 of these were captured since the beginning of the current study in 1980. Forty-one of the recent captures have been of cubs of the year and, consequently, are not expected to be recaptured at or near a den site until they breed at 3 or more years old.

### Conclusion

The polar bear population of western Hudson Bay appears to be unique in several ways. Although the population in general,

and of pregnant females in particular, appears to spend less time on the sea ice hunting seals than do polar bears in other areas, their reproductive capability does not appear to be affected detrimentally. In fact, on the basis of our preliminary data, female polar bears in western Hudson Bay have the highest natality rate, the highest mean litter size, and the shortest breeding intervals reported for any population of polar bears studied.

Reasons for these conclusions can only be speculated upon at present. The simplest hypothesis is that food availability in Hudson Bay is significantly greater and/or more accessible than in other areas of the Arctic, so growth and reproductive rates are increased. However, few quantitative data are available with which to evaluate this hypothesis.

In the High Arctic, Stirling & Latour (1978) observed differences in the hunting abilities of cubs of the year, yearlings, and 2-year-olds which appeared to relate to both learning and the physical size of a bear. They speculated that a bear may have to reach a critical body weight before it is sufficiently heavy to break into a subnivean lair during the winter or spring. Two-year-old cubs were observed doing very little hunting in the spring, compared to the summer when weight would not have influenced hunting success in the same way. Thus, in the High

Arctic 2-year-old cubs might not be large enough to hunt successfully on their own and were thus not weaned until their third summer at 2.5 years of age. We do not know if perhaps the growth rate of polar bears in Hudson Bay is more rapid and so cubs might be able to hunt successfully at a younger age. There may also be latitudinal variations in the depth and hardness of the snow drifts on the sea ice where seals make their lairs.

Hudson Bay also receives a different insolation regime than more northerly bodies of water. The salinity is less, the species diversity is greater, and it receives some water which may have been enriched as it passed south through the polynyas of Foxe Basin. To what extent these and other factors may influence primary productivity and the remainder of the food chain relied upon by polar bears is unknown.

### Acknowledgments

We gratefully acknowledge the following for support and logistic assistance: Canadian Wildlife Service, World Wildlife Fund (Canada), Wildlife Branch of the Manitoba Department of Renewable Resources, Polar Continental Shelf Project, and the Churchill Northern Studies Centre. In a project such as this, it would be impossible to mention all those who helped in some way and to whom we are grateful. In particular however, we thank the following for assistance during this study: D. Andriashek, R. Bukowsky, W. Calvert, D. Chranowski, K. John, C. Jonkel, S. Kearney, P. Latour, P. Smith, and M. Taylor.

### References

- BEST, R.C., 1976. Ecological energetics of the polar bear (*Ursus maritimus* Phipps 1774). — M.Sc. thesis, Univ. Guelph, Ontario, 136 p.
- JONKEL, C.J., G.B. KOLENOSKY, R.J. ROBERTSON & R.H. RUSSELL, 1972. Further notes on polar bear denning habits. — Pages 142-158 in S. Herrero (ed.). Bears. Their biology and management. Int. Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN Publ., New Ser., no. 23, 371 p.
- KNUDSEN, B., 1978. Time budgets of polar bears (*Ursus maritimus*) on North Twin Island, James Bay, during summer. — Can. J. Zool., 56: 1627-1628.
- LARSEN, T., 1974. Polar bear den surveys in Svalbard in 1972. — Norsk Polarinst. Arbok 153: 73-82.
- LATOURE, P.B., 1981a. Spatial relationships and behavior of polar bears (*Ursus maritimus* Phipps) concentrated on land during the ice-free season of Hudson Bay. — Can. J. Zool., 59: 1763-1774.
- LATOURE, P.B., 1981b. Interactions between free-ranging, adult male polar bears (*Ursus maritimus* Phipps): a case of adult social play. — Can. J. Zool., 59: 1775-1783.
- LENTFER, J.W., 1976. Polar bear reproductive biology and denning. — Final Report, Fed. Aid Wildl. Restoration. Alaska Fish and Game Proj. W-17-3 and W-17-4, 22 p.
- LONO, O., 1970. The polar bear (*Ursus maritimus* Phipps) in the Svalbard area. — Norsk Polarinst. Arbok, no. 149, 103 p.
- RUSSELL, R.H., 1975. The food habits of polar bears of James Bay and southwest Hudson Bay in summer and autumn. — Arctic, 28: 117-129.
- STIRLING, I. & P.B. LATOUR, 1978. Comparative hunting abilities of polar bear cubs of different ages. — Can. J. Zool., 56: 1768-1772.
- STIRLING, I., W. CALVERT & D. ANDRIASHEK, 1980. Population ecology studies of the polar bear in the area of southeastern Baffin Island. — Can. Wildl. Serv., Occ. Pap., no. 44, 31 p.
- STIRLING, I., C. JONKEL, P. SMITH, R. ROBERTSON & D. CROSS, 1977. The ecology of the polar bear (*Ursus maritimus*) along the western coast of Hudson Bay. — Can. Wildl. Serv., Occ. Pap., no. 33, 64 p.
- STIRLING, I., R.E. SCHWEINSBURG, W. CALVERT & H.P.L. KILIAAN, 1978. Population ecology of the polar bear along the proposed Arctic Islands Gas Pipeline Route. — Final Rep. to the Environ. Mgmt Serv., Dept. Environ., Edmonton, 93 p.
- USPENSKI, S.M. & A.A. KISTCHINSKI, 1972. New data on the winter ecology of the polar bear (*Ursus maritimus* Phipps) on Wrangel Island. — Pages 181-197 in S. Herrero (ed.). Bears. Their biology and management. Int. Union for Conser. of Nature and Natural Res. IUCN Publ., New Ser., no. 23, 371 p.

## THE CARIBOU OF NOUVEAU-QUÉBEC, AN IMPORTANT BIOLOGICAL RESOURCE ECONOMIC ASPECTS OF NASKAPI UTILIZATION

T. C. MEREDITH and L. MÜLLER-WILLE

Department of Geography, McGill University  
Montréal, Québec H3A 2K6

### Résumé

Le troupeau de caribous de la rivière Georges s'accroît rapidement et excédera bientôt 300 000 têtes. L'intérêt porté au troupeau par les biologistes de l'État ainsi que par les peuples indigènes du Nouveau-Québec et du Labrador augmente considérablement. Dans le cadre d'une vaste étude sur l'utilisation des caribous par les Naskapis de Schefferville, on tenta d'estimer les paramètres économiques des activités de chasse. Quarante-trois chasses faites en 1978, 1979 et 1980 furent analysées, en plus de cinq cents éléments budgétaires. Les résultats ont montré qu'environ 19 000 kilogrammes (42 000 livres) de viande comestible ont été livrés à la communauté, pour un coût moyen de 4,34 \$ le kilogramme (1,97 \$ la livre), ou 2,51 \$ le kilogramme (1,14 \$ la livre) équivalent de bœuf. Quatre-vingt-douze pour cent des récoltes étaient constituées de caribous. Selon les résultats, la continuation ou même l'augmentation de l'utilisation des caribous par les Naskapis serait économiquement rentable.

### Abstract

The George River caribou herd is growing rapidly and will probably soon exceed 300,000. Interest in the herd among government wildlife managers and natives of northern Québec and Labrador is increasing. As part of a larger study of use of the herd by the Naskapi of Schefferville, an attempt was made to estimate the economic parameters of their current hunting activities. Forty-three hunts carried out during 1978, 1979 and 1980 were analyzed, as were five hundred related budget items. Results showed that approximately 19,000 kilograms (42,000 pounds) of edible meat were delivered to the community through the studied hunts and that this meat cost an average of \$4.34 per kilogram (\$1.97 per pound) or \$2.51 per kilogram (\$1.14 per pound) beef equivalent. Ninety-two percent of the harvest was caribou. The results suggest clearly that continued or increased use of the caribou by Naskapi is economically attractive.

### Introduction

The last official estimate of the size of the George River caribou herd was made in 1975 (Juniper, 1980) and placed the size of the herd at about 178,000. Recent destructive sampling surveys indicated very high pregnancy rates: Dauphiné (1976) found 100% for animals between 1 and 3 years at breeding in a small sample, while in 1980 G.R. Parker (pers. comm.) found 40% for 1 year olds, and over 90% for 2 and 3 years olds. Luttich (1977), in a survey conducted before the end of the calving period, observed that 80% of a sample of 40,000 adult females had calves. Juniper (1979) applies the 80% rate to the 1975 estimate of the George River herd (178,000 with 45% breed-

ing age females) and suggests an annual recruitment rate of 64,500. An autumn survey of the herd showed that 23% of the herd were calves, suggesting a survival rate of 63.5% during the first four months (Juniper, 1979). This rate suggests that the net recruitment figures are likely to be very high.

I. Juniper (pers. comm.) reported that the most recent survey suggested the 1980 population level to have been about 300,000, indicating an average *per annum* increase of over 13% since 1975 despite an estimated 3% annual cull. Understandably, wildlife managers in Québec and Labrador are concerned about the herd.

There is now a growing awareness of the economic potential offered by *Rangifer*

*tarandus*, whether as caribou or as reindeer (Meredith & Müller-Wille, 1981). So it is natural that there has been some interest among northern native communities in Québec and Labrador in assessing the economic potential offered by the George River herd. We have been working with the community of 350 Naskapi in Schefferville (Québec), and have been looking at several aspects of caribou ecology, management and utilization.

The objective of this study is to identify the economic dimension of current utilization of caribou by the Naskapi. The reason for undertaking this assessment is that the Naskapi over the last century or so have gone from being virtually self-sufficient and independent of the North American cash economy (Cooke, 1979), to being closely, if not entirely, integrated into the cash economy. Although hunting is still an important source of food, supplies and even cash, and while there is a strong desire expressed among the Naskapi to increase rather than decrease their reliance on land based activities (Peat *et al.*, 1979), it is true that the Naskapi of Schefferville rely and will continue to rely on many of the cash-oriented facilities of Schefferville. We wish to provide an economic assessment of their land based practices.

The current Naskapi hunting activities can be subsumed within two general categories. The first is the individual hunt undertaken on individual initiative with only personal resources and, of course, with the harvest accruing to those involved. The second category is that of hunts funded by the Hunter Support Program, a program sponsored by the Québec government under the terms of the Québec Northeast Agreement. This program allows hunters to purchase equipment and supplies and to draw salaries from the central fund provided that the yield from the hunt is dispersed on an equitable basis throughout the community. This program appeared particularly significant to us for two reasons: firstly, it meant that hunters were unconstrained by want of capital or equipment and so, presumably, were hunting to the best of their ability; secondly, it meant that there would be some records of purchases, transport costs, salaries and yields. These records do exist for a three year period starting December, 1978, and although the records were neither as clear or as complete as we had hoped, we were able to obtain

accurate information on 41 hunts and on many of the major expenses of the hunting organization. We have attempted to use this information to create a well founded, approximate, picture of the economic side of Naskapi hunting and, more particularly, of their caribou utilization.

### Materials and methods

A search was made through Naskapi records in Schefferville and every verifiable piece of information relating either directly to a specific hunt or to expenditures made in support of the hunting program was transcribed and coded. A computer program was then prepared to perform the following tasks: 1) Sort hunts, yields and expenditures by month. 2) Within each month, assign to identified hunters the yield by species, the salary payment and any specific supply or support costs. 3) Allocate equally to the 36 months of the study period a share of all capital costs, principally equipment purchases, as well as all expenses for which no specific date was known. 4) Allocate to each hunter *pro rata*, on the basis of the number of days spent hunting, a share of the general and non-assigned expenses incurred during or allocated to that month. These expenses were principally for transportation, general supplies and a share of equipment costs. 5) Compute the amount of meat harvested per hunter per month by multiplying the number of animals of the seven major species ("fish" being treated as a single species) by an approximate unit edible weight index taken from Berger (1977, II: 25) and summing the results. 6) Compute the cost per unit weight for harvested meat for each hunter by dividing the monthly cost (4) by the monthly yield (5). 7) Compute the return per hunting day by dividing the yield per month for each hunter by the number of days spent hunting. 8) Compute the totals or means for all hunting activity occurring within a given month. 9) Compute overall totals and means for all hunting activities occurring within the study period.

These results were then assessed and used as a basis for inferences about: a) the relative significance of the species discussed; b) the overall costs per unit weight of delivered edible meat; c) the variation in cost efficiency between months; d) the variations in cost efficiency between hunters.

These inferences form the basis of a discussion of the economic aspects of Nas-kapi hunting and their utilization of caribou.

### Results

Approximately 700 records were deemed to be relevant to and sufficiently reliable for the study. These included information on 41 hunts involving 36 hunters in 907 man-days of hunting. Over 1700 kills were recorded and 11 species were indicated. Five hundred budget items were identified and included in the analysis.

While it is neither feasible nor important to reproduce the tables for each month, an example (Table I) shows the range of values which can exist within a given month. In August 1979, thirteen men hunted under the Hunter Support Program. The shortest period spent hunting was four days and the longest was twenty-four; there were a total of 124 man-days spent hunting. The total amount of meat harvested was 4,354 kg (9,600 lbs.), which was entirely caribou, harvested at a mean rate of about 35 kg (77 lbs.) per man-day and at a mean cost of \$2.45 per kilogram (\$1.11 per pound).

However, it will be noted that within this month there is a range from 12 kg to 85 kg (26 to 188 lbs.) per day and from \$1.01 to \$7.12 per kilogram (\$0.46 to \$3.23 per pound). In fact, over the total study period the cost per delivered kilogram

(pound) calculated by individual for each month, ranged from \$0.24 (\$0.11) to \$769.04 (\$348.83). The yield per man-day ranged from less than one half to almost 295 kilograms (650 pounds).

The figures for the monthly totals and means, of course, smooth vicissitudes (Table II). The amount of meat harvested in months during which there were hunts ranges from 109 kg (240 lbs.) to 4,556 kg (10,044 lbs.), while the cost per delivered kilogram (pound) ranges from \$0.71 (\$0.32) to \$50.60 (\$22.95) and the yield per man-day ranges from about 2.5 to over 90 kg (about to over 200 lbs.). The high values for the former and the low values for the latter are from months during which no caribou were harvested. The weighted means for all recorded hunting activity indicate a delivered price of \$4.34 per kilogram (\$1.97 per pound) and an average daily return of almost 23 kg (50 lbs.) per man-day.

Compiling monthly means for total amount of meat harvested and for the cost per delivered kilogram (pound) (Table III) suggests that autumn hunting is more productive and more efficient than spring hunting.

Of the total recorded harvest of 19,253 kilograms (42,445 pounds), 18,017 kilograms (39,720 pounds), or 93.5%, is comprised of caribou (Table IV).

TABLE I

A sample monthly tabulation (summarized)\*

Man	Yield		Cost (\$)	Duration (days)	Price		Yield/day	
	(kg)	(lbs.)			(\$/kg)	(\$/lb.)	(kg)	(lbs.)
1	108.86	240	603.58	7	5.53	2.51	15.55	34.29
2	108.86	240	776.03	9	7.12	3.23	12.10	26.67
3	381.02	840	603.58	7	1.59	0.72	54.43	120.00
7	707.60	1,560	1,120.94	13	1.59	0.72	54.43	120.00
11	0	0	776.03	9	—	—	—	—
12	217.72	480	603.58	7	2.78	1.26	31.10	68.57
13	381.02	840	603.58	7	1.59	0.72	54.43	120.00
15	870.90	1,920	2,069.42	24	2.38	1.08	36.29	80.00
19	598.74	1,320	603.58	7	1.01	0.46	85.53	188.57
25	326.59	720	344.90	4	1.06	0.48	81.65	180.00
26	217.72	480	1,379.61	16	6.33	2.87	13.61	30.00
27	217.72	480	603.58	7	2.78	1.26	31.10	68.57
36	217.72	480	603.58	7	2.78	1.26	31.10	68.57
Totals	4,354.47	9,600	10,692.00	124				
Means**	334.96	738.46	822.46	9.5	2.45	1.11	35.12	77.42

\* The month shown is August, 1979.

\*\* When no totals are shown, means are weighted.



TABLE II

Cost and yield of Naskapi hunting for 14 months during which there were hunts recorded under the Hunter Support Program\*

Date (mo./a)	Yield		Cost (\$)	Duration (man-days)	Price		Yield/day		Caribou (No.)
	(kg)	(lbs.)			(\$/kg)	(\$/lb.)	(kg)	(lbs.)	
01/78	489.48	1,080	761	5	1.74	0.79	97.98	216.00	9
04/78	363.33	801	4,641	102	12.76	5.79	3.56	7.85	5
08/78	108.86	240	841	7	7.72	3.50	15.55	34.29	2
11/78	3,061.29	6,749	4,054	55	1.32	0.60	55.66	122.71	54
12/78	237.68	524	1,424	106	48.10	21.82	2.24	4.94	0
01/79	911.72	2,010	3,141	56	3.44	1.56	16.28	35.89	16
03/79	269.89	595	5,888	104	21.80	9.89	2.59	5.72	0
04/79	242.67	535	2,831	21	11.66	5.29	11.56	25.49	0
08/79	4,354.49	9,600	10,692	124	2.45	1.11	35.12	77.42	80
09/79	1,810.74	3,992	4,121	89	2.27	1.03	20.35	44.86	33
12/79	4,555.88	10,044	7,442	149	1.63	0.74	30.58	67.41	83
01/80	179.62	396	9,088	41	50.60	22.95	4.38	9.66	0
08/80	1,197.48	2,640	1,041	18	0.71	0.32	81.65	180.00	22
09/80	1,469.64	3,240	1,761	30	1.19	0.54	48.99	108.00	27
Total	19,253.18	42,446	84,927**	907					331
Means	1,375.29	3,032	6,066	64.78	4.34	1.97	21.52	47.45	

\* Note that high price-per-unit weight figures and low kilograms-per-day (pounds-per-day) figures are associated with months during which no caribou was harvested.

\*\* Total cost is greater than sum of figures listed because costs from non-hunting months are included.

### Discussion

The first question to be asked is about the validity and relevance of the data base. In this regard it should be stressed that it does not reflect the private hunting activities of the Naskapi and we cannot estimate how private hunting may compare with Support Program hunting. It might be argued that program hunting is less efficient since more effective hunters may not hunt under the Program as the yields do not accrue to them, while poorer hunters, and those who have no particular interest in successful hunting, may be attracted to Program hunts because of the salary, which is received regardless of success. We found no evidence to support this argument nor did we hear any suggestion to that effect so, while we are not able to dismiss it, we are not inclined to accept it.

It may be argued conversely that the Program hunts are more effective because hunters operating under its auspices are not financially constrained and can, therefore, adopt what they feel to be the most effective scouting, hunting and transporting methods available. Again, we cannot assess the veracity of this possibility, but do suggest that if the Naskapi utilization of caribou does

increase it is likely that it will be under some formal program funded perhaps by the Naskapi Development Corporation and that the modes of operation will be more closely akin to those used by Program hunters than to those used privately. For these reasons then, we feel that while our data base may not be entirely representative of all Naskapi hunting activities, it does provide a valid basis for assessing a significant sector of hunting activity and that that sector is most relevant to considerations of future activities.

It is clear that 19,000 kilograms (42,000 pounds) of wild meat delivered to the Naskapi in Schefferville at an average cost of \$4.34 per kilogram (\$1.97 per pound) is a very significant input into the community. If a protein correction factor is applied to the harvest to compensate for the fact that wild meat is generally of a higher protein content than domestic meat, the degree of significance increases. For example, considering only the caribou [(18,017 kilograms) (39,720 pounds)] and using the protein correction factor of 1.6 (Berger, 1977) as compared to beef, the corrected yield is 27,998 kilograms (63,552 pounds). If the \$4.34 (\$1.97) price is adjusted accordingly, the price per kilogram (per pound) (beef equivalent) is \$2.51 (\$1.14); a remarkably low

TABLE III  
Monthly difference in yield and cost  
(No hunts are recorded for months not shown)

Month	No. years recorded	Mean yield per month		Mean cost	
		(kg)	(lbs.)	(\$/kg)	(\$/lb.)
January	3	527.07	1,162	8.20	3.72
March	1	269.89	595	21.80	9.89
April	2	304.81	672	12.24	5.55
August	3	2,144.13	4,727	1.94	0.88
September	2	1,640.19	3,616	1.79	0.81
November	1	3,061.29	6,749	1.32	0.60
December	2	2,396.78	5,284	3.92	1.78

price for meat which is preferred to beef overwhelmingly by the Naskapi, in an area where frozen imported beef costs well over \$8.80 per kilogram (\$4.00 per pound).

More significantly, the results suggest that the costs of harvesting caribou could be reduced considerably below the indicated value. For example, does the considerable variation in the yield per day of different hunters indicate a real difference in skills or commitment? If so, clearly, a program designed to include training to improve the skills of participants and perhaps incentives to increase the commitment could increase the efficiency of harvesting.

Furthermore, the great discrepancy between months suggests that there is some scope for consolidation of hunting efforts in certain months.

Actual field observation of hunting practices suggests other ways in which the efficiency could be improved if concerted efforts were made to develop the hunting activities. These would include such changes as using smaller and cheaper aircraft for surveillance than the Otters now used, and the creation of freezer storage facilities so that meat could be stored for longer periods. However, the allocations of manpower and the strategies for development would depend on the specific motivation behind any program to develop hunting, and these, clearly, are beyond the concern of this paper.

However, the data and analysis discussed above do show clearly that even within the structure of the existing hunting program the use of wildlife resources, which in the case

TABLE IV  
Composition of country food by species

Species	No. harvested	Edible weight index		Total edible weight		Percent edible weight (%)
		(kg)	(lbs.)	(kg)	(lbs.)	
Caribou	331	54.43	120.0	18,016.69	39,720	93.5
Fish	956	0.91	2.0	867.27	1,912	4.5
Ptarmigan	474	0.36	0.8	171.91	379	0.9
Marten	22	0.45	1.0	9.98	22	0.0
Otter	8	4.76	10.5	38.10	84	0.2
Fox	17	2.27	5.0	38.56	85	0.2
Beaver	14	7.89	17.4	110.22	243	0.6
Muskrat	1	—	—	—	—	—
Mink	2	—	—	—	—	—
Porcupine	1	—	—	—	—	—
Duck	2	—	—	—	—	—
Totals				19,252.73	42,445	99.9

\* The contributions of the four species marked "—" were deleted from the computations. Edible weight indices are based on Berger (1977).

of the Naskapi is effectively synonymous with caribou resources, is a very significant activity and one which warrants the further serious consideration of those concerned with the economic and social future of the Naskapi of Schefferville.

Moreover, given the estimated size and growth rate of the George River herd, it would seem that those charged with the responsibility for developing a management strategy might do well to consider the possible role of native economies.

The possibility that the ecological stability of the George River caribou herd and the economic stability of native communities might once again come into a healthy homeostatic interrelationship is one which would, we expect, find favour among social, political and ecological scientists.

#### Acknowledgments

We are indebted to the Naskapi Band Council and particularly Chief Joe Guanish; to the Hunter Support Program Committee and the then chairman, Matthew Mameamskum; and to Paul Wilkinson for assistance with the study. Financial support from the Department of Indian and Northern Affairs and logistic support from the McGill Subarctic Research Station made field work possible and is gratefully acknowledged.

#### References

- BERGER, T.R., 1977. Northern frontier: northern homeland — Supply and Services Canada, Ottawa, V. I., 213 p.; V. II, 218 p.
- COOKE, A., 1979. L'indépendance des Naskapis et le caribou. — Pages 99-104 in F. Trudel & J. Huot (édit.). Dossier Caribou: écologie et exploitation du caribou au Québec-Labrador. Recherches amérindiennes au Québec, 9 (1-2), 164 p.
- DAUPHINÉ, T.C., 1976. Ungava caribou collection. Preliminary report — Canadian Wildlife Service (mimeogr.), 4 p.
- JUNIPER, I., 1979. Le troupeau de caribous de la rivière George — Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Québec, 78 p.
- JUNIPER, I., 1980. Problems in managing an irrupting caribou herd. — Pages 722-724 in E. Reimers, E. Gaare & S. Skjenneberg (eds.). Proc. second Int. Reindeer/Caribou Symp., Røros, Norway, 1979, Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk, Trondheim, 799 p.
- LUTTICK, S., 1977. Census and classification of the George River caribou herd — Newfoundland and Labrador Wildlife Division Project Report, no. 76C-106, 19 p.
- MEREDITH, T.C. & L. MÜLLER-WILLE, 1981. Naskapi utilization of caribou and other wildlife. — Report to the Naskapi Band Council, 68 p.
- PEAT, MARWICK & ASSOCIÉS, 1979. Socio-economic study: Naskapi band of Schefferville. — Report to Naskapi Band Council, 63 p.

Écologie humaine  
*Human ecology*



## AN ECOLOGICAL PERSPECTIVE ON MAN-ENVIRONMENT RESEARCH IN THE HUDSON AND JAMES BAY REGION

M. M. R. FREEMAN<sup>1</sup>

*Department of Indian and Northern Affairs  
Ottawa, Ontario K1A 0H4*

### Résumé

Au cours des trois dernières décennies, la modernisation du mode de vie des Inuits de la baie d'Hudson et de la baie James a bouleversé les traditions familiales, sociales et économiques. L'aménagement des rivières a provoqué des changements quant aux ressources biologiques de leurs territoires. La chasse, qui constituait auparavant une nécessité économique, est cependant restée une activité sociale importante.

### Abstract

This paper describes ecological changes that have recently occurred in two selected Inuit communities in the Hudson Bay region. Despite the profound nature of these changes, hunting remains a very significant activity for important non-economic as well as economic reasons. The potential impact of environmental changes resulting from river diversions in the Hudson and James Bay region upon the living resource base that these hunting communities continue to depend upon is briefly considered.

### Introduction

The main assumption underlying this paper is that research in the Hudson Bay region derives much of its justification less from the fact that the Hudson and James Bay system is there (and hence intrinsically worthy of scientific conquest) and much more to the fact that the Hudson and James Bay system is being significantly impacted upon by human activities. Moreover, it is this human-derived impact which emphasizes the need-to-know, in scientific terms, a great deal about the nature of these systems in both their pristine and altered states. As we are concerned about the ecological consequences of such phenomena as, for example, altered hydrological regimes, then, as man is part of the total ecological system being studied, we should know more about the impacts on, and the responses of the human part of that system, as well as the network effects of these responses back through the system. In this paper, I will discuss certain selected aspects of man's place in the Hudson/James Bay ecumene.

### Social and cultural considerations

It is well known that the autochthonous occupants of the James and Hudson Bay drainage basins are drawn from several distinct cultural groups; thus whereas the east and northwest coasts of Hudson Bay are occupied predominantly by Inuit, those populations were, not very many years ago, made up of several socially, culturally and linguistically discrete bands of Inuit, and the same, but to a lesser degree, can be said of the Cree who occupy the east and west coasts of James Bay and the south-western shores of Hudson Bay. It is also interesting to observe that it has been the sequelae of recent environmental changes which have accelerated the rate of social and political coming together of these formerly discrete bands and hence have contributed to the recent (relative) loss of group distinctiveness. For example, the Inuit on the west coast of Hudson Bay maintained linguistic and socio-territorial discreteness for generations until, in the 1950's, changes in caribou numbers and/or distribution on the barren grounds precipitated some very profound human demographic responses resulting in relocation of these inland bands into several dis-

<sup>1</sup> Present address: Department of Anthropology, University of Alberta, Edmonton, Alberta T6G 2H4.

tant, permanent settlements. Despite loss of their nomadic lifestyle and continuous residential proximity in these new settlements, loss of distinctiveness based upon traditional social, cultural and linguistic characteristics did not quickly occur. Indeed, normally we would expect such changes to require decades, for under most circumstances Inuit place great value on maintaining social reserve toward non-kin, a reserve that effectively maintains small group distinctiveness in nearly all spheres of activity (Freeman, 1969, 1981). However, in the late 1960's and the 1970's a new class of environmental perturbations came into being, events that precipitately broke down the social reserve and effectively heightened cooperative interaction among these formerly minimally interacting Inuit groupings now artificially aggregated together in several new settlements. I refer here to their common perception of the environmental impact attendant upon the northward advance of the industrial frontier, represented by the search for, and planned development of, mineral and energy resources. This Inuit perception of events, sees frontier development as constituting a potentially severe threat to the continued wellbeing of those environmental resources upon which will depend, for long into the future, the continuance of a preferred life-style and social system which in turn provides the basis of a highly valued collective and individual identity. My analysis at this point has introduced notions of sentiment, emotion and ideology; feelings and fears, emotionally and idiosyncratically occasioned, of lifestyle preferences, personal and collective, all of which are, unfortunately, subjective and non-quantifiable characteristics which, if not impossible, are certainly difficult and contentious phenomena for scientists to work with. However, this difficulty does not make these issues any less important or pertinent to a full and reasoned discussion of ecological problems of the human environment. Science itself makes no claim to be able to ascribe value to the varied phenomena it purports to explain, and the results of scientific research do have varied value, depending, *inter alia*, on the role and identity of the evaluators. Therefore, the question of values, and the beliefs upon which values are based, and the individual nature of the differential evaluations which contribute to disagreements among those armed with the same scientific facts, are all part of the real world in which important

decisions of practical import are being made, whether for better or for worse. Therefore I make no apology, and indeed would maintain with some conviction that when trying to understand human behaviour or problems of the human environment, the limits of a strict scientism are very quickly reached. In such cases, methods of analysis other than the vigorously deductive will likely bring the sensitive, experienced, and non-partisan investigator tolerably close to a real understanding of the situation under investigation.

### Some ecological considerations

I now wish to attempt to illustrate, by reference to two selected Inuit communities, the relationship between social affairs and environmental circumstances. Both communities place great importance upon the marine living resources of Hudson Bay. The first community occupies the land and waters surrounding Southampton Island, an area endowed with abundant and diverse resources, whereas the other community, situated on the Belcher Islands, enjoys less abundance and diversity of resources. A further limitation in the case of the Belcher Island resource situation is the very high frequency of windy weather, for wind is the single most important factor adversely affecting the outcome of marine hunting at all seasons of the year. Thus, what animals there are, more often than not, cannot be harvested at will (McLaren & Mansfield, 1960). My point in briefly discussing these two communities is to illustrate one simple fact, namely, the continued importance of hunting to the social and cultural integrity of the autochthonous inhabitants of the region, and the great need therefore that appropriate assessment be made of the biological consequences of the hydrological changes planned in the Hudson/James Bay region, given the very significant continuing human dependence upon the biological productivity of these marine waters.

### The meaning of dependence

I wish to explain my use of the term *dependence* in the preceding sentence. In the present context, it would be quite misleading and erroneous to equate *dependence* solely or primarily with economic values. Hunting, fishing and gathering various locally available food resources obviously

does have important economic significance, given the relatively high cost and low nutritional quality of imported food in the North (Berkes & Farkas, 1978; Schaefer & Steckle, 1980). So economics and the nutrition/health complex are part of the dependence I refer to. However, I am using the term in a more all-inclusive fashion, for native northerners identify strongly with the activity of hunting and with the various social institutions and underlying attitudes, beliefs and values that sustain and derive meaning from the sequential series of purposive behaviours we gloss under the term *hunting*. The sequence of behaviours that constitute hunting includes acquiring the desired resource in a disciplined manner, it includes the patterned *distribution* of the resource, and the appropriate manner of *consuming* it. These three constituent parts of the hunting complex are carried out according to tradition, therefore *socialization* of children and young people is also necessary for the appropriate conduct of the various activities. During socialization, in teaching *how*, elders pass on some of the *why*, therefore cardinal values of the society (self-reliance, patience, perseverance, generosity, co-operation, and so on) are inculcated by repetition and sanction in real life situations. It is quite inappropriate, therefore, to apply a reductionist mode of analysis in seeking understanding of the role of hunting in today's North, for such a mode of analysis seeks to evaluate the individual, disaggregated contributions (to economics, to health, to social integration through sharing), whereas hunting is more the inter- and intragenerational cement which helps hold the changing society together. Furthermore, because the importance of the hunting complex remains primary, the values it reflects remain relatively unchanged and unchanging, and, therefore, it offers a stable reference point in an otherwise rapidly expanding and often anxiety-provoking social, political and economic universe. A recent analysis (Hobart, 1981) indicates that even in the face of massive economic and occupational change occasioned by rotational and shift employment in oil exploration and in mining, Inuit men continue to hunt (and in some cases to trap furs) during periods of home leave.

### The Southampton Island situation

Figures 1 and 2 indicate relationships between hunting and certain other important

spheres of social activity. The sample years 1960 and 1970 are used to illustrate the profound societal changes that have occurred, and associated effects on these relationships occurring over the past twenty years.

In 1960, the community, numbering approximately 200 Inuit, derived needed income (to purchase guns, boats, marine engines and fuel, and other imported goods) largely from the sale of white fox pelts, seal-skins and polar bear skins. In order to succeed as a trapper, a man required, *inter alia*, a good dog team and caches of dog food set out along a lengthy trap line. The preferred dog food, in terms of both quality and quantity/convenience of harvesting, was walrus which were reasonably abundant in the waters around Southampton Island. However, the most effective way to fill dog-food caches with walrus meat was to harvest them, in the fall, using Peterhead boats (Freeman, 1969-1970). However, few men owned such boats; apart from the expense of purchase (ca. \$10,000 in 1960), maintenance and operation were also costly. Men owning such large boats tended to be elders of the socially prominent families, exerting considerable influence, if not political power, over a number of kin and non-kin followers who benefitted from part shares of the catch in return for crew-support during the hunt. This relationship corresponds in several important respects to the traditional boat owner and leadership role in Inuit society. Thus the customary relationship between leadership (political position), boat ownership, prestige, hunting success, and various markers of such accomplishment as, for example, a large number of dependents/followers, large and impressive dog-teams, well stocked food caches, etc., remained in effect.

By 1970, the population on Southampton Island had increased to about 350 Inuit, and, following the introduction of motor toboggans in 1962, the number of dogs on the island had decreased to about half the 1960 number, though very few hunters regularly used their few remaining dogs. Much of the local economy was now derived from wage employment in the village or at a nearby airport, so that relatively few families had the same economic dependence on harvesting local resources as in earlier times, even though such foodstuffs were regarded by most as essential daily items of diet. With the decline in dog population, and the even greater decline in dogteam use on the trap-



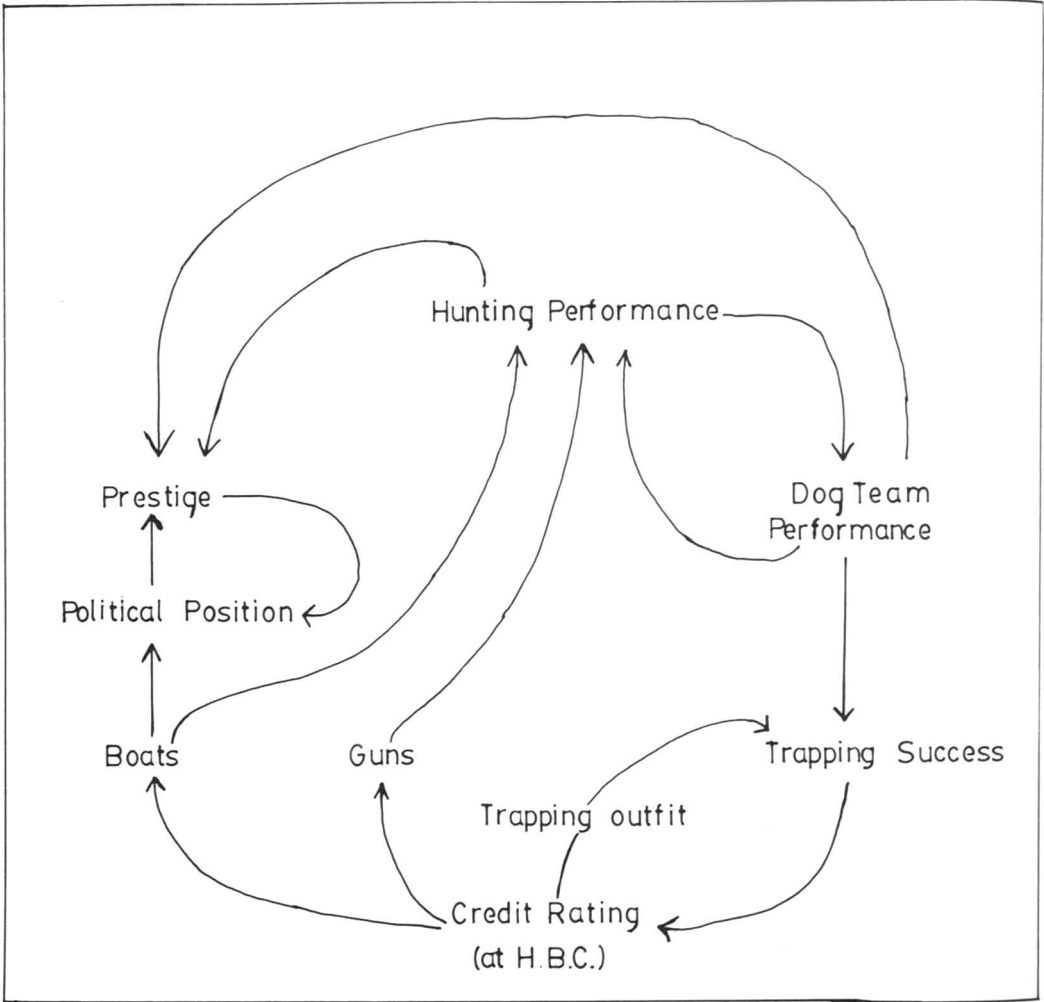


Figure 1. Relationships between hunting and certain other important spheres of social activity at Southampton Island in 1960.

lines (now largely serviced by motor toboggans) the extent of walrus hunting by large boat also suffered quantitative decline (Freeman, 1974-1975).

Figure 2 illustrates the new relationships existing in the community after a decade of change. The main changes have resulted from the shift from an earlier dependence upon credit rating as a hunter-trapper to a new cash-based economy. The sources of cash are quite varied, but importantly derive to a very great extent from non-local sources. Similarly the new political-administrative forms result from non-local initiatives, as do the educational and training programmes that facilitate participation in the new economic-political order. Thus customary

relationships linking political, economic and prestige creating spheres of community activity, very dependent upon local resources and within-community evaluatory criteria, have been replaced by a new set of relationships which to a significant extent derive both legitimacy and substance from sources external to the community.

However, the point must be stressed that the complex of events, (albeit in changed form over the years) derived from traditional behaviours and values associated with hunting, provided the Inuit with their distinctive cultural identity. Thus, with important new emphases entering the present-day north, such as non-traditional education, non-traditional political and administrative

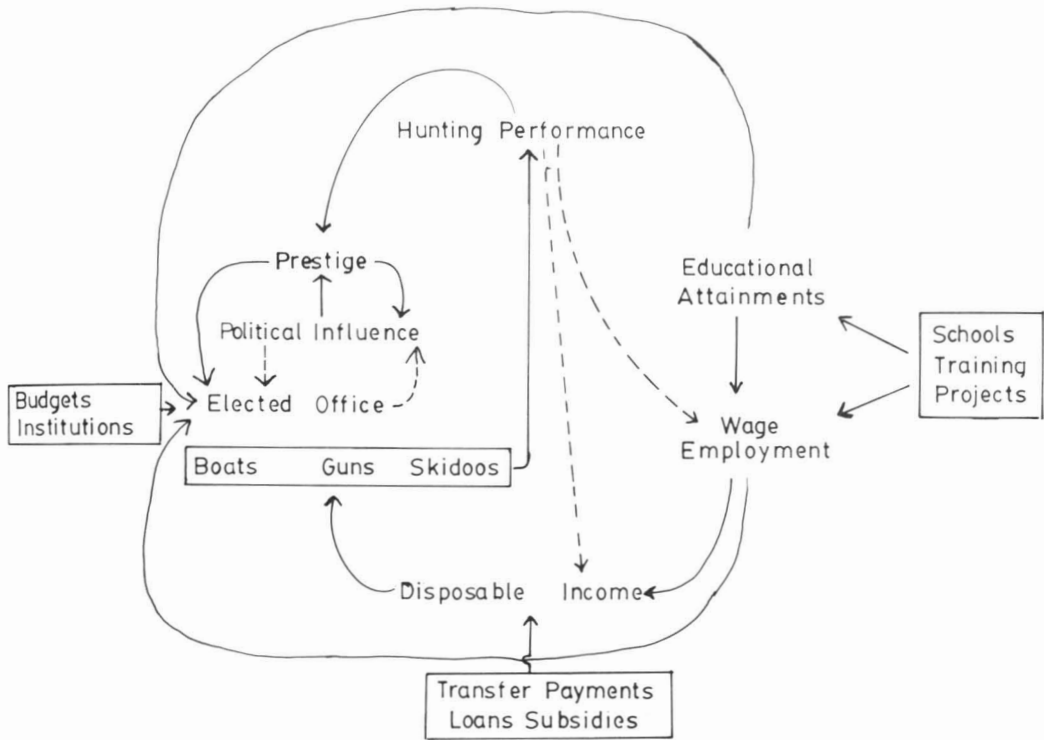


Figure 2. Relationships between hunting and certain other important spheres of social activity at Southampton Island in 1970.

structures and occupational opportunities, those traditionally related institutions that do remain, such as language, family, hunting, sharing, traditional foods, come to assume powerful emblematic value as critical markers of the culture, to be preserved and enhanced in the face of troubling and pervasive changes that threaten the foundations of Inuit society, culture and personal identity (Tester, 1981).

**The Belcher Island situation**

The population on this small archipelago has increased to the same dramatic extent as on Southampton Island: from about 180 in 1960 to about 330 in 1980. However, as noted earlier, the attendant resource situation is more critical due to various environmental circumstances prevailing at this lower latitude in Hudson Bay. Until about 1960, the Inuit population was dispersed in seasonal settlements of small size, each moving up to six or seven times each year to effectively exploit the dispersed resources (Freeman, 1967). Following the loss of this nomadic adaptation during the 1960's, the

growing population nevertheless continued to exploit the complete range of resources available to them, even though the population now resided at a single location at the northern end of the archipelago.

Despite the changed settlement pattern, the need for mobility has remained high due to the widespread distribution of required food species. However, dogs have been replaced by motor toboggans and motor-powered freight canoes and skiffs have replaced the traditional kayaks widely in use among the population until the 1960's, and balloon-tired motor bikes are used on overland hunting trips during the snow-free period.

Figure 3 indicates the extent of the hunting territory utilized by Belcher Island Inuit following permanent settlement at one location. Despite the population concentration at one main settlement site, nevertheless seal are exploited in all coastal regions, and white whale are hunted along those coastlines and in bays favoured by this valued species. Arctic char are fished at 34 named fishing sites, and in the vast majority of cases it is anadromous stocks that are exploited.

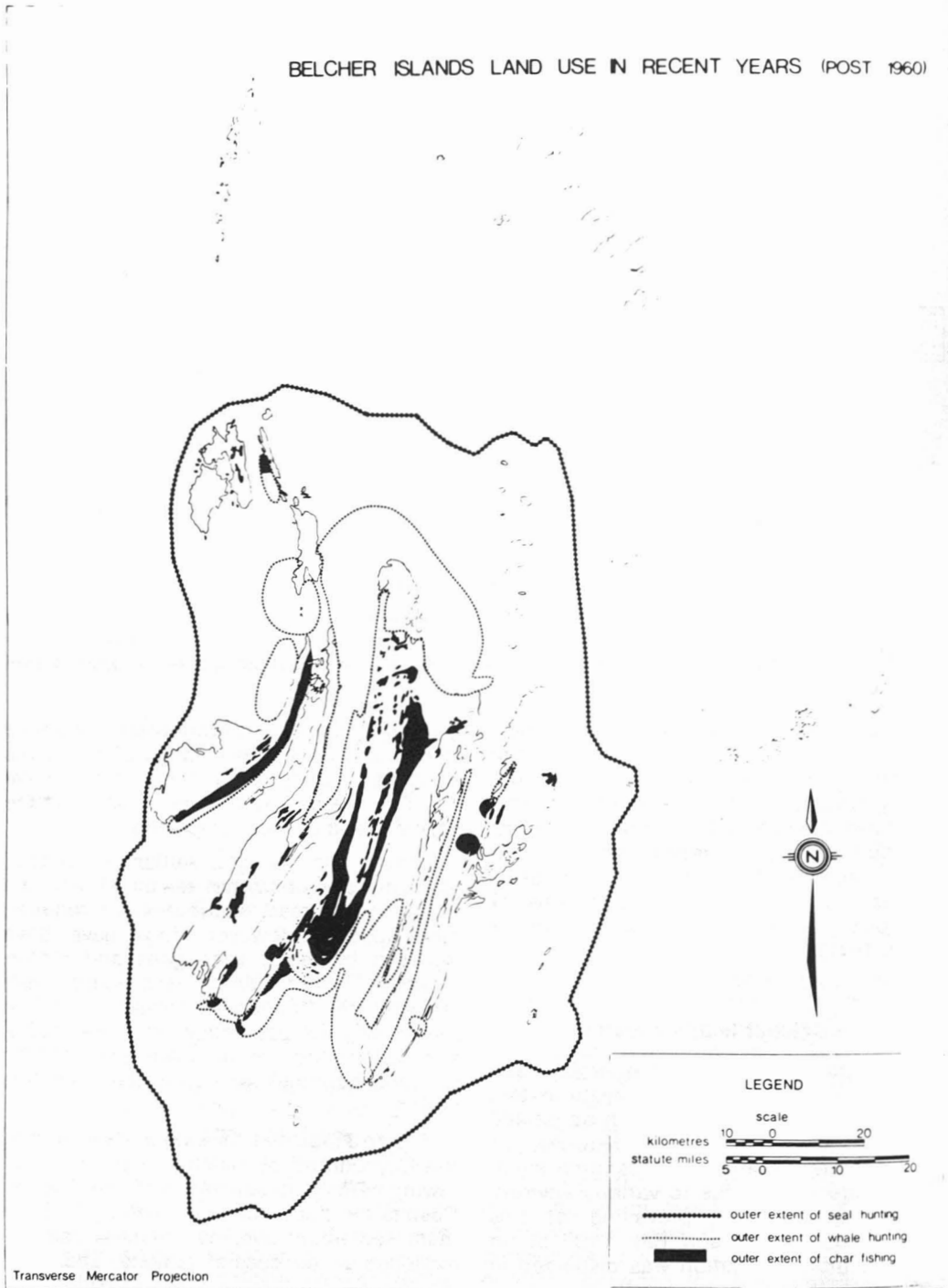


Figure 3. Map showing the extent of the hunting territory utilized by Belcher Island Inuit following permanent settlement at one location. Extent of seal and whale hunting, and char fishing.

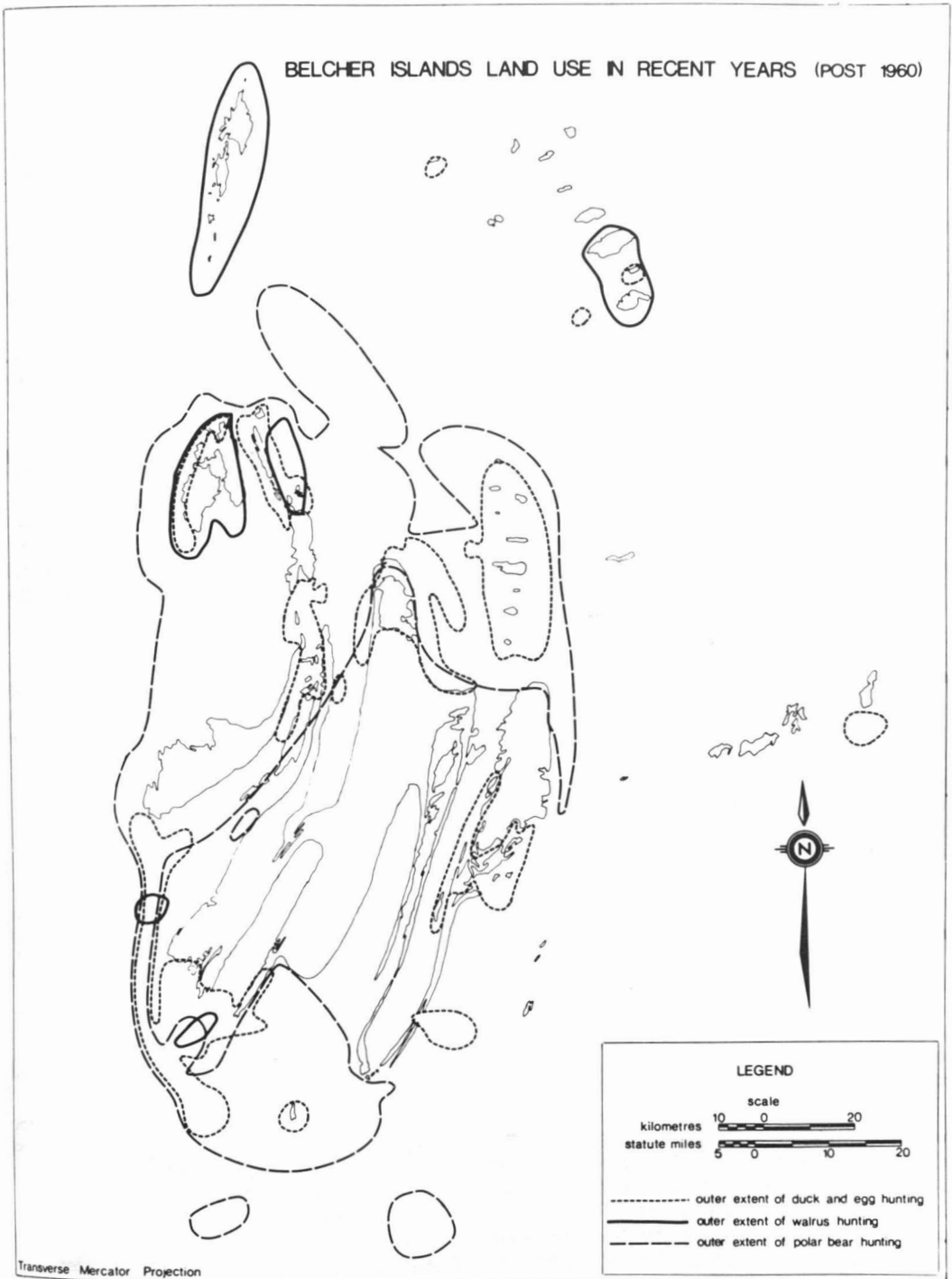


Figure 4. Map showing the extent of the hunting territory utilized by Belcher Island Inuit following permanent settlement at one location. Extent of duck, walrus, and polar bear hunting.

Figure 4 indicates the wide-ranging distribution of the eider duck, important because it is a large non-migratory species, nesting locally and available in large numbers throughout the year (Freeman, 1970). Polar bear and walrus are two marine species with restricted availability, both seasonally and locally, though valuable when available to hunters.

In summary, with the exception of a very few, small, land-locked fish populations, some few arctic hare and ptarmigan, and the important spring through summer availability of various geese and duck species (Freeman, 1971; Manning, 1976), anadromous or marine species are the principal food animals sought after by Belcher Island Inuit (Schwartz, 1976).

### Discussion

In these two examples I have attempted to show the continued importance of the Hudson Bay marine environment to contemporary Inuit populations inhabiting the region. These examples are taken to be illustrative of the range of Inuit societies occupying the Hudson Bay (and Hudson Strait/Ungava Bay) littoral. In the case of the Southampton Island community, it is suggested that despite changes the society has undergone over the past several years, hunting remains crucially important, enabling Inuit society to continue to provide meaning to traditional values in the face of increasingly powerful disruptions occasioned by outside forces of change. Throughout the Canadian North, Inuit have articulated reasons for their attachments to the land/sea and its living resources (Brody, 1976, 1977; Tester, 1978).

In view of this widespread and continuing dependence of many Inuit communities upon the productivity of Hudson Bay, impending changes to the water quality of the bay should certainly be a matter of some concern.

The river diversions presently in place have measurable effect on water properties, especially under winter conditions when freshening of the surface layers and increased stability of the water column is to be expected in the absence of wind-generated turbulence. The volumes of freshwater entering Hudson/James Bays in winter will become progressively larger, and certainly in excess of the 500 percent increase presently cited for the La Grande system (Prinsenber, 1980).

As other river damming and diversions take place, the additive effect so produced can be expected to have a major impact at the time of the spring phytoplankton bloom which likely takes place before the sea-ice cover disappears. In the Hudson Bay, zooplankton production is a major component of total secondary production (Dunbar, 1970: 155); its production depends to large extent on phytoplankton production and hence the instability of the water column. Influx of large volumes of freshwater will of course increase the density- and thermal-stratification of the water column, hence decreasing production potential.

Salinity changes in the surface waters, especially as it may negatively affect the under-ice communities, and changes in sea-ice break-up time may have significance in relation to seal productivity values (McLaren, 1962, p. 171). However, my purpose here is not to speculate on biological consequences of altered hydrological conditions, but rather to emphasize that any such effects that do occur will certainly produce system changes that can be expected to impact upon the human population of the region. The consequent social, cultural and political dimensions of hydroelectric developments in the Canadian North, therefore, will likely be more long-lived than the distant regimes initially promoting these developments in the first instance, with wholly metropolitan values in mind.

### References

- BERKES, F. & C. S. FARKAS, 1978. Eastern James Bay Cree Indians: changing patterns of wild food use and nutrition. — *Ecol. Fd Nutr.*, 7: 155-172.
- BRODY, H., 1976. Land occupancy: Inuit perceptions. — Pages 184-242 in M.M.R. Freeman (ed.). Report: Inuit land use and occupancy project, Volume 1. Department of Supply and Services, Ottawa, 263 p.
- BRODY, H., 1977. Permanence and change among the Inuit and settlers of Labrador. — Pages 311-347 in C. Brice-Bennett (ed.). Our footprints are everywhere. Inuit land use and occupancy in Labrador. Labrador Inuit Association, Nain, 380 p.
- DUNBAR, M.J., 1970. On the fishery potential of the sea waters of the Canadian North. — *Arctic*, 23: 150-174.
- FREEMAN, M. M. R., 1967. An ecological study of mobility and settlement patterns among the Belcher Island Eskimo. — *Arctic*, 20: 154-175.

- FREEMAN, M. M. R., 1969. Adaptive innovation among recent Eskimo immigrants in the eastern Canadian Arctic. — *Polar Rec.*, 14: 769-781.
- FREEMAN, M. M. R., 1969-1970. Studies in maritime hunting I. Ecologic and technological restraints on walrus hunting, Southampton Island, N.W.T. — *Folk*, 11-12: 155-171.
- FREEMAN, M. M. R., 1970. Observations on the seasonal behaviour of the Hudson Bay eider (*Somateria mollissima sedentaria*). — *Can. Fid Nat.*, 84: 145-153.
- FREEMAN, M. M. R., 1971. The birds of the Belcher Islands. — *Can. Fid Nat.*, 84: 277-290.
- FREEMAN, M. M. R., 1974-1975. Studies in maritime hunting II. An analysis of walrus hunting and utilisation, Southampton Island, N.W.T. 1970. — *Folk*, 16-17: 147-158.
- FREEMAN, M. M. R., 1981. Persistence and change: the cultural dimension. — Pages 257-266 in M. Zaslow (ed.). *A century of Canada's Arctic Islands, 1880-1980*. Royal Society of Canada, Ottawa, 358 p.
- HOBART, C. W., 1981. Impacts of industrial employment on hunting and trapping among Canadian Inuit. — Pages 202-218 in M. M. R. Freeman (ed.). *Proceedings: first international symposium on renewable resources and the economy of the North*. Association of Canadian Universities for Northern Studies, Ottawa, 268 p.
- MANNING, T. H., 1976. Birds and mammals of the Belcher, Sleeper, Ottawa and King George Islands, Northwest Territories. — *Can. Wildl. Serv., Occ. Pap.* no. 28, 40 p. Ottawa.
- MCLAREN, I. A., 1962. Population dynamics and exploitation of seals in the eastern Canadian Arctic. — Pages 168-183 in E. D. LeCren & M. W. Holdgate (eds.). *The exploitation of natural animal populations*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 399 p.
- MCLAREN, I. A. & A. W. MANSFIELD, 1960. The netting of sea mammals: a report on the Belcher Island experiment 1960. — *Fish. Res. Bd Can., Arctic Unit Circular*, no. 6, Montréal, 11 p.
- PRINSENBERG, S. J., 1980. Man-made changes in the fresh-water input rates of Hudson and James Bay. — *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 1101-1110.
- SCHAEFER, O. & J. STECKLE., 1980. Dietary habits and nutritional base of native populations of the Northwest Territories. — *Report of the Science Advisory Board of the Northwest Territories, Yellowknife*, 37 p.
- SCHWARTZ, F., 1976. Inuit land use in Hudson Bay and James Bay. — Pages 115-118 in M. M. R. Freeman (ed.). *Report, Inuit land use and occupancy project, Volume 1*. Department of Supply and Services, Ottawa, 263 p.
- TESTER, F. J., 1978. Socio-economic and environmental impacts of the polar gas pipeline — Keewatin District, Volume I. *Reflections of the people*. — Department of Indian and Northern Affairs, Ottawa, 464 p.
- TESTER, F. J., 1981. Northern renewable resource management: socio-psychological dimensions of participation. — Pages 190-197 in M. M. R. Freeman (ed.). *Proceedings: first international symposium on renewable resources and the economy of the North*. Association of Canadian Universities for Northern Studies, Ottawa, 268 p.



## PSYCHOLOGICAL ADAPTATION TO CULTURE CHANGE AMONG THE JAMES BAY CREE

J. W. BERRY

*Department of Psychology, Queen's University  
Kingston, Ontario K7L 3N6*

R. M. WINTROB

*Department of Psychiatry, University of Connecticut  
Farmington, Connecticut, U.S.A.*

P. S. SINDELL

*CSP International Inc.  
1117 rue Sainte-Catherine est  
Montréal (Québec) H3B 1H9*

and

T. A. MAWHINNEY

*Department of Psychology, Queen's University  
Kingston, Ontario K7L 3N6*

### Résumé

De 1967 à 1971, deux études furent effectuées, afin d'étudier les réactions psychologiques des Cris de la baie James aux changements culturels liés au début de la réalisation d'un important projet hydro-électrique. Ce projet nécessita l'irrigation du territoire de chasse des Indiens et changea les conditions sociales, économiques et politiques de leur communauté. En 1978 et 1979, une étude parallèle fut entreprise sur le même groupe d'individus auquel on ajouta un nouveau groupe de personnes ayant l'âge des premiers dix ans auparavant. On ajouta également de nouveaux paramètres plus spécifiques sur l'adaptation aux changements culturels survenus. Des observations, des enquêtes et des tests psychologiques ont été effectués par des spécialistes en anthropologie, en psychologie et en psychiatrie.

Dans certaines régions, dites plus *réceptives*, les Cris présentent une stabilité psychologique malgré les changements survenus, alors que dans d'autres régions les Indiens ont démontré une attitude de stress psychologique. On a établi des relations systématiques entre l'expérience et la perception des individus face aux changements et leur capacité à s'adapter. D'autres études sont présentement en cours afin de clarifier ces relations et de les relier aux phénomènes décrits dans la littérature.

### Abstract

In the period 1967-1971 two studies were carried out among the James Bay Cree to examine the nature of their psychological response to culture change. Beginning in 1971 a major hydroelectric project was constructed in the midst of the hunting and trapping territories of the Cree, involving land flooding, community dislocation, and changes in social, economic and political institutions. In 1978 and 1979, a longitudinal study of individuals from the original samples was begun, supplemented by new samples of the same age now as the original samples were ten years earlier. Fieldwork has included observations, interviewing and psychological testing by an interdisciplinary team representing anthropology, psychology, and psychiatry. The original measures were employed with the follow-up and new samples; these enable both longitudinal and cross-sectional analyses. In addition, new measures were developed to focus more specifically on attitudes and adaptations relating to culture change.



Results indicate a high degree of psychological stability in cognitive areas, but more fluidity in the areas of attitudes and acculturative stress. Systematic relationships exist between the individual's experience of culture change, his perception of that change, and his psychological adaptations to it. Continuing analyses are attempting to clarify these relationships, and to relate them to the existing literature on psychocultural change.

### Introduction

For some people, northern Canada is a *homeland*, while for others it is a *frontier* (Berger, 1977). In general, the native peoples of the North view it as *their* homeland, while many Eurocanadians in the South view it as *their* frontier. Contact between these two sets of peoples has taken place for centuries, but only recently has there been major conflict over the appropriate role of the north in the development of Canada (see Berry, 1981, for a review of the intergroup relations, and current perceptions of these peoples.)

This study is concerned with one specific contact area, that of the Cree people of northern Québec. It is interdisciplinary in character, involving psychology, psychiatry and anthropology, and longitudinal in design, following up the earlier projects of Chance (1965), and Berry (1976a), among these same peoples.

A general process of culture change has been taking place among the native peoples in northern Canada for centuries. Recently, though, an event of great speed and magnitude has occurred in northern Québec: the unheralded announcement and almost immediate construction of a massive hydroelectric project on the hunting and trapping territory of the Cree people of the region. This paper conceptualizes the nature of this technological intrusion, and its accompanying acculturation, and then turns to a consideration of the major psychological adaptations made by the Cree people.

Studies of how people cope with culture change abound in the literature, although few have had the advantage of being longitudinal as this study is. The basic questions usually addressed are *how* people, both collectively and individually, view and deal with culture change, and *what* the consequences are for their present and future life. A common theme is that there is resistance to change and (perhaps as a result) a host of negative effects in terms of socio-cultural disorganization and personal disintegration. However, a close reading of the literature reveals that such results are not

inevitable: the nature of the adaptations depends upon specific features of the two cultures in contact, and upon the quality of their relationships.

In the case of the James Bay Cree people, the proposal of the hydroelectric project stimulated a collective reaction, which included political organization and court proceedings to halt the intrusion. Following the granting of an injunction against its construction (later lifted) a negotiated settlement was achieved which provided for a Cree Regional Government, a Cree School Board, a Cree Health and Social Services Board, and a set of economic measures (such as land claims settlement, guaranteed income from trapping, and royalties on resources). Within a period of five years, the political and institutional structure of Cree society was radically transformed, in a way which transferred institutional control to the Cree people themselves.

At the individual level, many persons became involved in these new structures, or reaffirmed their land use activities. It is at this level where most of our results will be reported.

### The concept of adaptation

Adaptation is a useful concept in the study of acculturation (Honigmann, 1976; Berry, 1976a, 1976b). If adaptation is viewed as the reduction of conflict, then the group and individual options taken to lessen acculturative conflict may be used to examine possible variations in collective and individual behaviour. One way to approach this issue is by giving dichotomous *yes* or *no* answers to two questions of crucial importance to all groups and individuals undergoing acculturation: "Is my cultural identity of value and to be retained?", and "Are positive relations with the larger (dominant) society to be sought?" In this manner, the four distinct varieties of acculturation in Figure 1 may be identified: assimilation, integration, rejection and marginality.

By answering *yes* to the question: "Are positive relations with the dominant society

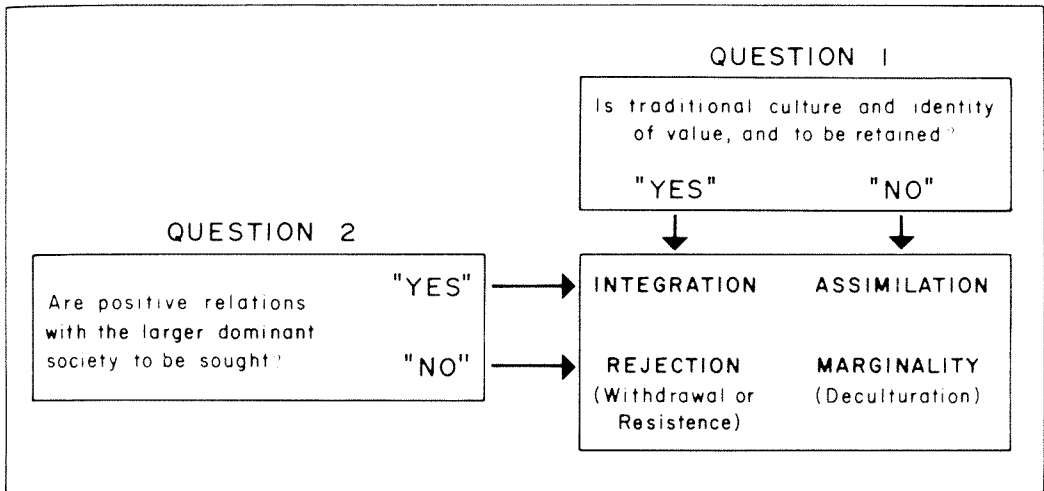


Figure 1. Adaptive options available to non-dominant groups during acculturation.

to be sought?", we have two varieties of acculturation which are distinguished by the contrasting value placed on the retention of cultural identity: assimilation and integration. In the case of *assimilation*, relinquishing cultural identity and moving into the larger society is the option taken. *Integration*, however, implies the maintenance of cultural integrity as well as the movement to become an integral part of a larger societal framework. Therefore, in the case of *integration*, the option taken is to retain cultural identity and to move to join the dominant society.

The two other options in Figure 1 are characterized by their common negative response to the question regarding relations with the dominant group, but are distinguished by their differential retention of traditional culture and identity. From the point of view of the non-dominant group the *rejection* option can take the form either of *withdrawal* (moving away from contact or influence), or of *resistance* of either the passive or active variety, such as refusal to participate in the life of the larger society or open rebellious action.

The situation of *marginality* does not really represent an option in the sense that non-dominant groups rarely opt for it; rather it happens to them by a combination of cultural loss (deculturation) and exclusion from major participation in the dominant society. It is often characterized by collective and individual confusion and anxiety, by feelings

of alienation, loss of identity and by what has been termed *acculturative stress* resulting from being "poised in psychological uncertainty" between two cultures (Stonequist, 1935).

From the point of view of the dominant group, the *rejection* option represents the classical segregation which occurs when the dominant society controls and decides the situation of the non-dominant group; this brings to the fore the question of the political power to control the choices made by non-dominant groups and individuals. This issue is centrally important to our study because at the present time two political elements have combined to give the Cree some degree of control over culture change. One is general to all Canadians in the form of the Multiculturalism Policy of the Federal Government. In principle, groups and individuals have the right to choose which acculturation options they wish to follow; put in more direct terms, the usual pressures to assimilate or to become marginalized have been lessened. Recent research suggests that this policy is generally acceptable to Canadians and has a good chance of working (Berry, et al., 1977). The second factor is provided for in the James Bay Agreements concerning Cree autonomy and institutional control. Thus the options sometimes found in less tolerant societies, such as forced assimilation, segregation and ethnocide, do not form a theoretical or empirical element in our present research framework.

### Relationships between acculturation and adaptation

These various conceptual distinctions have set the stage for a consideration of what kinds of phenomena may actually be observed during acculturation. Earlier work (Berry, 1976a, 1978; Wintrob & Sindell, 1972) pointed clearly to two kinds of phenomena: those which are simply *changes* in previous ways of living (referred to variously as "shifts" in behaviour, or "synthesis" in identity or life styles), and to those phenomena which are *stressful* both at the cultural and individual levels.

The first group of phenomena is based upon learning new life styles (Hallowell, 1955), but doing so selectively (Wallace, 1951) or sometimes in novel ways (De Vos, 1976). These "shifts" are likely to predominate in the assimilation and integration modes of adaptation, in which attitudes toward the larger society are positive. They are relatively smooth transitions between a traditional life style to one more like that of the other (in this case, Eurocanadian) society.

The second kind of phenomena we are likely to encounter are those which are disruptive for the group and stressful to the individual; these have been referred to generally as "acculturative stress" (Berry & Annis, 1974), and include such phenomena as "psychopathology", "identity confusion" (Wintrob & Sindell, 1972), feelings of "marginality" (Berry, 1970), "personal discomfort" (Cawte *et al.*, 1968) or a lack of "personality adjustment" (Chance, 1965) or of "psychosocial adjustment" (Barger, 1977) by those who have lost "cognitive control" (Spindler, 1968). Such phenomena are more likely to occur in the rejection or marginality modes of acculturation, for it is here that conflict is maintained between the groups in contact. However, it remains an open question whether those striving for cultural reaffirmation or revitalization (Wallace, 1956), who are basically interested in the withdrawal mode, will continue to experience acculturative stress. A likely answer is that it will depend upon the attitude and behaviour of the dominant society; if it is pluralistic in its general outlook (Berry *et al.*, 1977), and is therefore accepting of nativistic or revitalization movements, then conflict should be reduced, and acculturative stress may be minimal.

Turning to the basic question of this section, that of relationships between acculturation and adaptation, we may assert that no single or universal relationship is likely to characterize all contact situations. We have argued that the amount of shift, and the amount of stress, will depend among other things upon the adaptative mode of acculturation. However, we may also assert that these phenomena will also depend upon the cultural and psychological characteristics of the groups in contact. Some of these characteristics have already been considered in the research literature. One is the *rapidity* of the change (largely discounted by Mead, 1956); another is *incongruence* such as that between one's new identity or goals and the possibility of their attainment (Chance, 1965; Valee, 1968), the inconsistencies between aspirations and expectations in achieving goals (Wintrob & Sindell, 1972) or between the sociopolitical structure of the two societies (Berry, 1976a). A third variable has also been identified: the general *discontinuity* between cultures in lifestyle (specifically in values, beliefs and norms) as illustrated, for example in the Cree child's experience of "bush" and Eurocanadian life in boarding school (Sindell & Wintrob, 1972; Wintrob & Sindell, 1972).

Another factor which has been implicated in the psychological response of individuals to culture change has been treated broadly under the title "cognitive". For example in the work of Spindler (1968, p. 338) the concept of *cognitive control* has been employed to refer to "the maintenance of the organization" of an individual's "unique way of viewing, sorting and synthesizing the things and events believed to exist in the world". During culture change, an individual's cognitive control is particularly challenged, and attempts are made to maintain it or to develop a new and satisfactory organization. To the extent that this is not achieved, stress and anxiety are experienced. Similarly, some research (in part with the James Bay Cree) by Berry (Berry, 1976a; Berry & Annis, 1974) has implicated the role of *cognitive style* in the experience of stress. In those studies, those who were more "cognitively differentiated", tended to exhibit less acculturative stress. The mechanism which was postulated was that the more cognitively differentiated individuals are able to maintain their own world about them, and to impose their own view on the changes around them.

Finally the work of Lazarus (Lazarus *et al.*, 1980) and of Meichenbaum (Meichenbaum & Novaco, 1978) has brought to the fore the notion of *cognitive appraisal*. This is basically the process of considering and evaluating an event with regard to its significance for one's well-being. Research employing this concept has shown that the experience of stress does not depend upon what might be called the objective situation, but upon the subjective evaluation of it.

In sum, then, we may discern an approach to understanding the effects of culture change which is broadly "cognitive"; the individual's representation, understanding and feelings about a change may be the important factor, rather than the actual change itself. If a person feels "in charge" or "in control" for a possible variety of reasons, then stress reactions are likely to be lower than if the person feels at "the mercy" of such changes. Of course, the objective political power of the group, or the individual's personal resources are likely to affect this sense of control and should not be neglected as antecedent factors; how-

ever, the "cognitive" approach emphasizes the necessity of also considering subjective factors as well. For all these reasons, variable relationships between acculturation and adaptation are likely to be present in different culture change areas. Although shifts are almost always present, cultural breakdown and personal stress do not always accompany acculturation (Fried, 1964; Inkeles & Smith, 1970), and much of the evidence for this assertion derives from work with northern peoples (Barger, 1977; Berry & Annis, 1974; Chance, 1965; Hippler, 1974). A basic argument being advanced here, then, is that the conceptual framework and empirical coverage of acculturation research should be broad enough to capture all the potential variations in acculturation and in adaptation; to do less would be to prejudice the nature of both, and of the relationships between them.

#### The research framework employed

The general outlines of the research framework are provided in Figure 2. A few

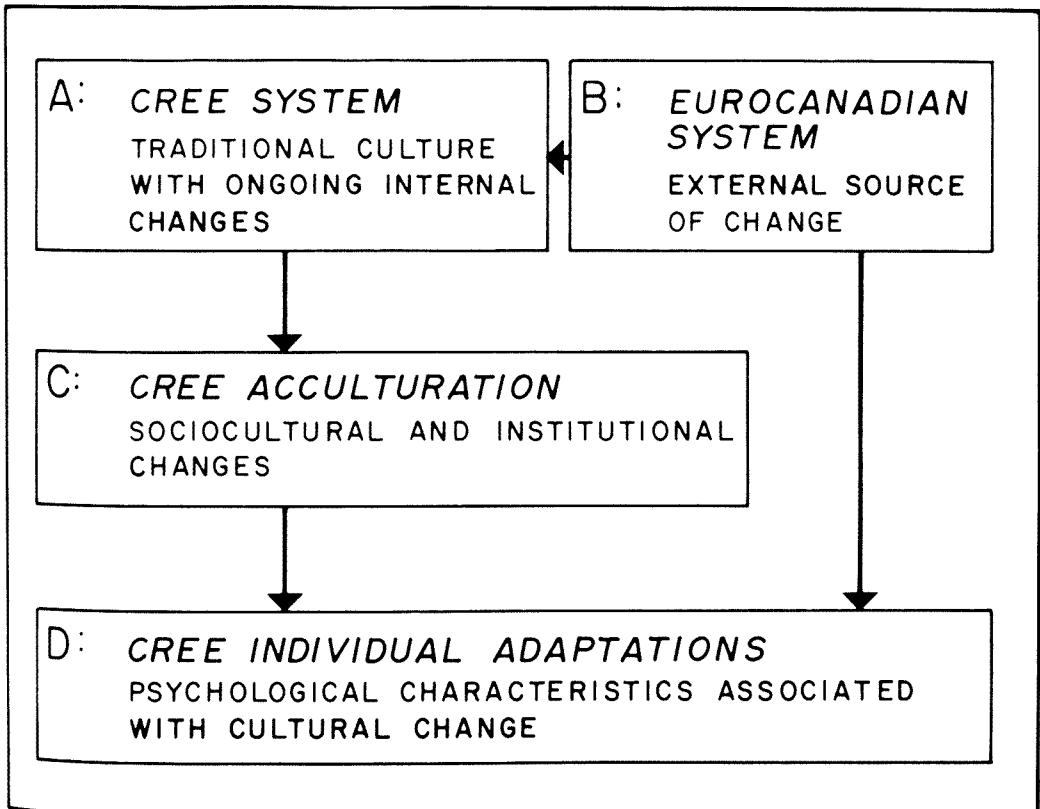


Figure 2. Framework for studying Cree adaptation to culture change and acculturation.

illustrations of each major variable are provided here in order to give some substance to the framework.

In frame A and B are the antecedents to change including the external sources of change (from Eurocanadian society) at both the sociocultural and individual levels (frame B), and the traditional cultural and behavioural characteristics of the Cree (frame A); these two systems are in contact, but with the strong balance of influence flowing from the Eurocanadian to the Cree system. The consequents of this interaction are frames C and D: the first represents acculturation and adaptations at the sociocultural level, while the second contains the adaptations at the individual level, some features of which derive directly from the Eurocanadian system.

In the present study we are concerned with the central features of all four frames. For example, the major cultural, social, economic and political characteristics of the Cree people prior to major contact (frame A) can be described and assessed, along with those features of the Eurocanadian system which have influenced traditional Cree life (frame B). These include the introduction of the market and wage economy, of missions and schools, of health and social services, and since 1971, of the James Bay hydroelectric project. Cree acculturation (frame C) includes the adoption of trapping and the use of money, the change in beliefs and attitudes, the increase in population and the emergence of effective political organization. Frame D contains a variety of psychological adaptations to acculturation: included here are attitudes toward change and toward modes of adaptation (assimilation, integration, rejection and marginality), estimates of cognitive abilities and acculturative stress and ethnic identity.

This project has attempted to gather evidence in all four frames, and to examine relationships among data within and across the four frames. However, the central concern has been to account for the varieties of individual adaptation (frame D) as a function of the phenomena in the other three frames.

### Some hypotheses

With some understanding of culture change and acculturation among the Cree, and of some established relationships be-

tween change phenomena and psychological adaptations, we are now in a position to state the general hypotheses which have guided the present research. They are divided into two kinds, one concerned with between group analyses (that is, the Cree situation in relation to other culture change arenas in the North, or in the literature generally), and the other concerned with within group analyses (that is, individual or community differences in adaptation in relation to variation in experience of change).

1. On the basis of developing Cree *political control* over the major changes affecting them, stress phenomena will be on the decline over the course of the longitudinal study.
2. Those individuals with greater *control* (both in terms of actual personal resources or a sense of cognitive control) will exhibit less stress.
3. Those individuals with *positive attitudes* toward the larger society (such as in the *integration* mode) will exhibit less stress than those rejecting it (in the *rejection* mode) or those who are marginalized.

### Sample and design

The three communities involved in the study, Wemindji, Chisasibi, and Mistassini, are located in the area governed by the Grand Council of the Crees of Québec: Wemindji and Chisasibi are on the east coast of James Bay, and Mistassini is 350 km inland, at the southern end of Lake Mistassini. Initial field work was carried out in the coastal communities in the summer of 1971, and in Mistassini in 1968-1969. Repeat field investigations were carried out in August and September of 1978 in Wemindji, from May to October, 1979 in Chisasibi and Mistassini, and in April, 1980 in Mistassini.

All three communities have shown marked growth, and all have shown an increase in use of commodities previously unavailable (such as electricity, running water, telephone). Since the signing of the James Bay Agreement, Cree involvement in the administration of health and education services has risen greatly. School curriculum development is an area of intense activity, and participation in teaching and in supplying medical services is also increasing.

At the same time, traditional pursuits are still very much in evidence in all three communities. In 1979, 159 individuals in Chisasibi and 320 in Mistassini were registered for the income security programmes for hunters and trappers. Qualification for the programme requires a minimum of 120 days a year spent in the bush. The relatively low figure for Chisasibi is largely attributable to the number of people working on the community relocation project, then scheduled for completion by 1982.

Commercial enterprise is roughly comparable in the three communities: all have a Hudson's Bay Company store and one or more competitive businesses. There is an active Anglican church in all locations, a Roman Catholic church and school in Chisasibi, and a growing Pentecostal congregation in Mistassini.

From Table I which provides information on the samples, it should be clear that there are both synchronic and diachronic elements to the design. Synchronically, total samples at time 1 and time 2 can be analyzed for age and sex differences, for community differences, and for relationships among sociocultural and psychological variables. Diachronically, changes and similarities between time 1 and time 2 for the follow-up sample can be examined.

The psychological data were collected by way of testing and interviewing; a short (biodata) interview accompanied the test administration, while an extended (more open-ended) interview was given during a separate session. Basic biodata includes age, Eurocanadian education, wage em-

ployment level, ownership of Eurocanadian goods (radio, skidoo), language used, literacy in English and frequency of media use (newspapers and magazines).

Tests included two cognitive tasks [Kohs Blocks (Kohs, 1923) and Raven's matrices (Raven, 1963)], and three intergroup relational attitude scales [assimilation, integration and rejection (Sommerlad & Berry, 1970)]. There were two scales of acculturative stress [psychosomatic stress (Cawte *et al.*, 1968) and marginality (Mann, 1958)], and a Cree continuity and change orientation test which provided three attitude scores: continuity (with tradition), change (toward Eurocanadian life), and synthesis (of the two). Finally, a Cree Picture Vocabulary Test was developed to attempt a measure of verbal ability (Mawhinney, 1982).

The more extended interview was concerned with details of educational, occupational and residential background, aspirations and expectations, and with identity and identity conflict.

## Results

The extended interview results are still being analysed (for such variables as identity and aspirations), and are thus not included in this report. The available results are considered in relation to two questions: does the repeat sample adequately represent the original sample, and what is the nature of the change over the ten year span? In a later section we will consider the contemporary structure of our data.

TABLE I  
Samples drawn at time 1 and time 2 in three Cree communities

Sample	Community			Total N
	Wemindji	Chisasibi	Mistassini	
I Time 1 Male	31	30	56	117
All Old Female	30	30	53	113
Total N	61	60	109	230
II Time 2 Male	21	10	22	53
Repeat Female	16	13	20	49
Total N	37	23	42	102
III Time 2 Male	57	19	37	113
All New Female	32	21	33	86
Total N	89	40	70	199

For the first question, we find that in Wemindji the 37 repeat respondents do not differ significantly from the 61 original respondents on any variables. For Chisasibi, there are only four variables where the 22 repeats differed from the 60 originals: the repeats were younger ( $P < 0.05$ ) and better educated ( $P < 0.05$ ), they used the printed media more often ( $P < 0.03$ ) and their Raven's scores were higher ( $P < 0.01$ ). For Mistassini, these tests were not part of the original study (only the extended interview was given at time 1 and time 2), and so no judgement can be made of follow-up representativeness at the present time. In general in Wemindji and Chisasibi, though, those participants who could be found ten years later are reasonably representative of the original sample. Our fear, that those Cree most oriented toward Eurocanadian life would have *gone south* and not be part of their communities any longer, was not in fact borne out; indeed, it appears to be the older, less well educated (at least in Chisasibi) who were not included at time 2. There are a number of possible reasons for this, such as a youth bias in our repeat sampling, or the unavailability of older persons.

Turning to our second question, about the nature of the psychological changes over the interval, we have two statistical tests available. A *t*-test indicates the significance of the difference in scores obtained by the same individuals at time 1 and time 2; a longitudinal *r* indicates the Pearson correlation within the sample between scores at time 1 and time 2. These are different types of estimates of continuity or change: one indicates a general rise or drop in score in the sample, while the other indicates the relative constancy of position of an individual within the sample. Thus we should examine both statistics for evidence of continuity or change.

With respect to *age*, the longitudinal correlation is close to unity, and the mean differences correspond to the intervals between testing (7 and 8 years respectively in Wemindji and Chisasibi); this represents an estimate of reliability of reporting.

For *education*, there was no general change in Wemindji, and the longitudinal *r* is near unity (+0.97); however, in Chisasibi (where there is a secondary school and more opportunity to continue education) there is a significant general increase, while the longitudinal *r* remains near unity (+ 0.97).

For *employment status*, there is no general increase, but there is a good deal of flux (indicated by low correlation of -0.11) particularly in Wemindji.

*Ownership* of Eurocanadian goods and services increased significantly in both communities, but some constancy in relative individual ownership is present (*r*'s of +0.59 and -0.33 respectively).

*Language use* (Cree/English) did not change at all, on the average, and this is also the case for individuals (*r*'s = -0.75 and 1.00).

*Literacy* in English did not change either. Individuals rated themselves similarly in Wemindji, but flux has been apparent in Chisasibi.

With respect to *media*, the use of newspapers and magazines has increased greatly in Chisasibi (reflecting continuing increase in exposure) but not in Wemindji. In both communities, there is a moderate degree of flux between time 1 and time 2.

These various estimates of acculturation to Eurocanadian life suggest a continuing, but not dramatic change in the educational, occupational and linguistic life of the Cree people in the two communities (to be checked in greater detail with data from the extended interview). Considering the massive political and institutional changes which have taken place at the sociocultural level, this minimal increase in individual acculturation in our sample is less than one might expect. True, education, ownership and media use are increased (especially in Chisasibi), but the change has been relatively small, and perhaps no greater than that which would have occurred during the same period without the hydroelectric project.

What, in this light, is the case for the psychological tests and scales? Looking first at the two cognitive variables (*Kohs* and *Ravens*), we find an improvement in performance in both tests in Wemindji, but no change in either test in Chisasibi; in all four longitudinal *r*'s, there is substantial evidence for stability (range +0.63 to +0.77). The lack of rise in Chisasibi may be due to the fact that the follow up sample there had higher scores on these tests than the original sample, leaving less room for score change as education increased.

With respect to the two acculturative stress variables, we find a drop in all cases between time 1 and time 2; this drop is

significant in each case, except for *marginality* in Wemindji (a mean of 5.8 down to 4.9,  $t = 1.6$ ,  $P < 0.12$ ). Longitudinal correlations are moderate, indicating an intermediate degree of flux.

Among the relational attitudes, *assimilation* attitudes remained generally unchanged, but with some degree of flux, particularly in Wemindji. Changes in attitudes toward *integration* and *rejection* differed between the two communities: in Chisasibi the former rose (*NS*) while the latter dropped ( $P < 0.02$ ), while in Wemindji the former declined ( $P < 0.02$ ) while the latter rose slightly (*NS*). Flux was evident in Wemindji (particularly for *integration*, where a negative correlation is obtained), but was less so in Chisasibi.

In order to help structure these relationships, we decided to factor analyze the matrix, including all the acculturation and psychological variables together (Table II).

The initial analysis suggested that three factors should be rotated. The three factor structure in Table II indicates that one factor loads all of the acculturation variables and two relational attitudes; at one pole we have older people who reject major ties with the larger society, and at the other are highly educated and literate persons who favour

*assimilation*. The second factor suggests a dimension with acceptance of *integration* and *synthesis* at one pole, and with high *stress* and *marginality* at the other; the three cognitive tests are also present at the positive pole. The third factor indicates a strong opposition between attitudes toward continuity and change, paralleled more weakly by a similar opposition between attitudes toward *rejection* and *assimilation*.

When five factors are rotated (instead of just three) the two new factors which appear are a separate cognitive one (loading Kohs, Ravens and Vocabulary) and a unique acculturative stress one (loading *stress* and *marginality*). The choice between the five- and three-factor solution is a difficult one. The five factor structure does have the advantage of distinct cognitive and acculturative stress factors; however, the three factor solution brings together components which speak more directly to some of the questions directing the research.

## Discussion

Although we still lack the data from the extended interview, and from one psychological test, the picture is fairly clear. We have been reasonably successful in following up the original samples, though more from the point of view of representativeness, than with respect to total numbers.

With little evidence of longitudinal bias then, the data generally indicate a moderate to high degree of continuity in psychological characteristics in the face of widespread culture change in the James Bay area. In some cases, however, there is evidence of sample stability but individual flux; this has been particularly true in the area of relational attitudes.

With respect to the analyses of all current data, there is marked consistency within the data set, and between the data set and some of our expectations. First, the acculturation measures turn out to form a fairly cohesive cluster. In fact, when the seven acculturation variables are factor analysed together, a very strong single factor emerges. Older people, whose psychological development took place prior to major contact are least acculturated, particularly with respect to education and language use; younger people who have been to school, have learned English and use the Eurocanadian printed media. Two of the relational attitudes are directly related to this experience of acculturation:

TABLE II

Factor analysis of acculturation and psychological variables (loading above 0.30)

Variable	Factor		
	I	II	III
Age	-0.78		
Education	0.91		
Employment	(0.28)	0.30	
Ownership	0.39		
Language	0.76		
Literacy	0.51		
Media	0.38		
Assimilation	0.47		(-0.28)
Integration		0.38	
Rejection	-0.59		(0.25)
Continuity			0.82
Synthesis		0.45	
Change			-0.73
Stress	-0.56		
Marginality	-0.54		
Kohs		0.34	
Ravens		0.39	
Vocabulary		0.38	



those highly acculturated tend to favour *assimilation*, while those not so acculturated tend to favour *rejection*. This pattern indicates an unsatisfactory situation from the point of view of both the Cree and the larger society; in the past, acculturation has meant assimilation, and this stands in contrast to Canadian Multicultural Policy (Berry *et al.*, 1977), and to Cree interests in the maintenance of a Cree-oriented society.

Turning to the second factor, the picture is more promising. Here we find that the *integration* mode (along with an interest in *synthesis*), and some wage employment experience, is associated with the cognitive measures, and all stand in opposition to acculturative stress. This factor speaks to two issues. One is that, independently of acculturation, we find that the *preferred* mode of intergroup relations (integration) is also psychologically the most *healthy* (low stress). The other is that cognitive control is indeed related to the avoidance of acculturative stress, as we hypothesized; this too, is relatively independent of acculturation, although the correlation matrix informs us that *stress* and *marginality* are generally negatively related to indicators of acculturation. Thus, on the basis of the second factor, we can support current policy decisions and programme development; Cree control within Eurocanadian society (integration and synthesis), and individual cognitive control (Kohs, Ravens, and Vocabulary) help to avoid the experience of acculturative stress.

The third factor indicates that the poles of the Cree continuity and change orientation instrument (Continuity and Change) are relatively independent of our other measures. Although the two polar relational attitudes (assimilation and rejection) load minimally (but consistently), showing that they are at least partially concerned with a similar view of change, the specific notions of "Cree continuity and change" and "relations with Eurocanadian society" remain independent for our Cree respondents. That is, different relationships between the two societies are not tied to retention or loss of Cree characteristics. Within a multicultural society, this makes sense: the loss of Cree identity, values, or customs should not be the price paid for structural assimilation, when tolerance of ethnic differences is officially and generally supported.

The general decline of acculturative stress over the 8 year period, combined with the

relationships evidenced in Table II, give us reason for optimism: the Cree are "over the hump" (Berry, 1978) and they, along with Eurocanadian society, are moving in directions associated with increasingly positive psychological adaptations.

### Acknowledgments

We gratefully acknowledge the cooperation of the people of Wemindji, Chisasibi and Mistassini, the contribution of Bob Annis, and the financial support of the SSHRCC, Ottawa.

### References

- BARGER, K., 1977. Culture change and psychosocial adjustment. — *Am. Ethnol.*, 2: 471-495.
- BERGER, T., 1977. Northern frontier, northern homeland. — Ministry of Supply and Services, Ottawa, 268 p.
- BERRY, J.W., 1970. Marginality, stress and ethnic identification in an acculturated Aboriginal community. — *J. Cross-cult. Psychol.*, 1: 239-252.
- BERRY, J.W., 1976a. Human ecology and cognitive style: comparative studies in cultural and psychological adaptation. — Wiley, New York, 242 p.
- BERRY, J.W., 1976b. Individual adaptation to change in relation to cultural complexity and psychological differentiation. — Paper presented to American Anthropological Association Meetings, Washington, D.C., 16 p.
- BERRY, J.W., 1978. Acculturative stress among the James Bay Cree: prelude to a hydroelectric project. — Pages 105-119 in L. Müller-Wille, P. Pelto, Li. Müller-Wille & R. Darnell (eds.). Unexpected consequences of economic change in circumpolar regions. Boreal Institute, Edmonton, 119 p.
- BERRY, J.W., 1981. Native peoples and the larger society. — Pages 214-230 in R.C. Gardner & R. Kalin (eds.). A Canadian social psychology of ethnic relations. Methuen, Toronto, 244 p.
- BERRY, J.W. & R.C. ANNIS, 1974. Acculturative stress: the role of ecology, culture and differentiation. — *J. Cross-cult. Psychol.*, 5: 382-406.
- BERRY, J.W., R. KALIN & D.M. TAYLOR, 1977. Multiculturalism and ethnic attitudes in Canada. — Ministry of Supply and Services, Ottawa, 359 p.
- CAWTE, J., G.N. BIANCHI & L.G. KILOH, 1968. Personal discomfort in Australian Aborigines. — *Aust. N.Z. J. Psychiat.*, 2: 69-79.
- CHANCE, N.A., 1965. Acculturation, self-identification and personality adjustment. — *Am. Anthropol.*, 67: 372-393.

- DE VOS, G. (ed.), 1976. Responses to change: society, culture and personality. — Van Nostrand, New York, 286 p.
- FRIED, M., 1964. Effects of social change on mental health. — *Am. J. Orthopsychiat.*, 34: 3-28.
- HALLOWELL, A.I., 1955. Culture and experience. — University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 421 p.
- HIPPLER, A.E., 1974. Some alternative viewpoints of the negative results of Euro-American contact with non-Western groups. — *Am. Anthropol.*, 76: 334-337.
- HONIGMANN, J.J., 1976. Personal adaptation as a topic for cultural and social anthropological research. — Chairman's paper presented to Symposium on Culture Change and Adaptation, American Anthropological Association Meetings, Washington, D.C.
- INKELES, A. & D.H. SMITH, 1970. The fate of personal adjustment in the process of modernization. — *Int. J. comp. Sociol.*, 11: 81-114.
- KOHS, S.C., 1923. Manual for the Kohs block design test. — Stoelting, Chicago, 14 p.
- LAZARUS, R.S., J.B. COHEN, S. FOLKMAN, A. KANNER & C. SCHAEFER, 1980. Psychological stress and adaptation: some unresolved issues. — Pages 29-43 in H. Selye (ed.). Guide to stress research. Van Nostrand Reinhold, New York, 394 p.
- MANN, J., 1958. Group relations and the marginal man. — *Hum. Relat.*, 11: 77-92.
- MAWHINNEY, T.A., 1982. A picture vocabulary test for the eastern James Bay Cree. — In S.H. Irvine & J.W. Berry (eds.). Human assessment and cultural factors. Plenum, New York.
- MEAD, M., 1956. New lives for old. — Morrow, New York, 221 p.
- MEICHENBAUM, D. & R. NOVACO, 1978. Stress inoculation: a preventative approach. — Pages 317-330 in C. Spielberger & I. Sarason (eds.). Stress and anxiety, Vol. 5. Wiley, New York, 420 p.
- RAVEN, J.C., 1963. Guide to using the coloured progressive matrices. — Lewis, London, 56 p.
- SINDELL, P.S. & R.M. WINTROB, 1972. Cross-cultural education in the north, and its implications for personal identity: the Canadian case. — Pages 43-53 in F. Darnell (ed.). Education in the North. Arctic Inst. N. Am., Montréal, 320 p.
- SOMMERLAD, E.A. & J.W. BERRY, 1970. The role of ethnic identification in distinguishing between attitudes towards assimilation and integration of a minority racial group. — *Hum. Relat.*, 23: 23-29.
- SPINDLER, G.D., 1968. Psychocultural adaptation. — Pages 326-347 in E. Norbeck, D. Price-Williams & W. McCord (eds.). The study of personality: an interdisciplinary appraisal. Holt, Rinehard and Winston, New York, 400 p.
- STONEQUIST, E.V., 1935. The problem of the marginal man. — *Am. J. Sociol.*, 41: 1-12.
- VALEE, F., 1968. Stresses of change and mental health among the Canadian Eskimos. — *Archs envir. Hlth.*, 17: 565-570.
- WALLACE, A.F.C., 1951. Some psychological determinants of culture change in an Iroquoian community. — *Bull. Bur. Am. Ethnol.*, 149: 59-76.
- WALLACE, A.F.C., 1956. Revitalization movements: some theoretical considerations for their comparative study. — *Am. Anthropol.*, 58: 264-281.
- WINTROB, R.M. & P.S. SINDELL, 1972. Culture change and psychopathology: the case of Cree adolescent students in Québec. — Pages 259-271 in J.W. Berry & G.J.S. Wilde (eds.). Social psychology: the Canadian context. McClelland and Stewart, Toronto, 377 p.



## INDIAN CHILDREN: A DENVER DEVELOPMENTAL SCREENING TEST VALIDITY STUDY

S. O. BURKE, L. A. SAYERS

*Queen's University School of Nursing,  
Kingston, Ontario*

J. G. WRAY

*Nevada General Hospital  
Nevada, Missouri*

and

A. J. BAUMGART

*Queen's University School of Nursing  
Kingston, Ontario*

### Résumé

L'objectif de cette étude fut de déterminer si le test de développement «Denver» (DDST) constitue un outil fiable pour évaluer le développement des enfants indiens du nord de l'Ontario (108 enfants de Moose Factory et de Moosonee). Des questionnaires furent remplis par les mères, les infirmiers et infirmières de la santé publique, et d'autres données furent compilées à partir des dossiers des hôpitaux et des cliniques externes. Le test de développement de l'enfant «Minnesota» (MCDI) fut aussi appliqué sur un sous-échantillon de 29 enfants. Pour préciser l'âge développemental de l'enfant, les résultats démontrent que le test «DDST» convient mieux que l'évaluation faite par les mères, les infirmiers et infirmières. Cependant, le test n'est pas assez précis pour certifier un retard de développement chez les enfants de trois à cinq ans. Donc, il doit être utilisé avec certaines précautions.

### Abstract

The purpose of the study was to determine whether or not the Denver Developmental Screening Test (DDST) is a valid assessment of the developmental status of the northern Ontario native Indian child (108 children from Moose Factory and Moosonee), and to examine cultural and environmental correlates of developmental variations in these children. Data were collected using the DDST, an extensive maternal questionnaire, a public health nurse questionnaire and a thorough hospital and outpatient record search. A blind validity study of a subsample of 29 children was done using the Minnesota Child Development Inventory (MCDI). To estimate a child's developmental age the DDST was found to be preferable to ratings made by nurses or mothers, but when developmental delays are suspected it is not specific or sensitive enough (particularly among three to five year olds). In general, the findings indicate that the DDST is appropriate to use with specified cautions.

### Introduction

The Denver Developmental Screening Test (DDST) is commonly accepted and used by health professionals in Canada as a quick assessment of children from birth to six years of age. It measures four dimensions

of development: personal-social, fine motor-adaptive, language and gross motor. Each of the 105 items of the test is represented by a horizontal bar which indicates the age at which 25, 50, 75 and 90 percent of the standardized population was able to perform the item. The advantage of this test lies in

its quick, simple and economical administration, its acceptability to children and parents, and its demonstrated reliability and validity with infants and children from diverse socio-demographic backgrounds (Frankenburg & Dodds, 1975).

However, the appropriateness of the DDST as a screening procedure for northern Ontario native children has been questioned by public health nurses and other health professionals working with this population. The problems cited seem to be of two types. First, some of the test items seemed culturally and environmentally inappropriate. For example, since there are usually no paved roads in northern Ontario towns and villages, the native children may not recognize items containing words such as *pavement* or *tricycle*. Secondly, the DDST norms may not be applicable to this population of children who are exposed to a unique cluster of cultural, economic and environmental factors. Indeed, there is some empirical support for the notion that there are different developmental and health patterns among these children (Woodruff & Samek, 1977). The net result of these problems could seriously compromise the purpose of the DDST — that is to identify as *early* as possible children with delayed or abnormal development.

The study reported here had two aims: 1) to assess whether, or in what circumstances, the DDST is a valid screening device for use with northern Ontario native Indian children; 2) to examine possible confounding cultural and environmental factors likely to influence DDST scores.

### Subjects and setting

The 108 children studied live in Moose Factory and Moosonee which are small Cree Indian communities located 160 miles north of Cochrane, Ontario. Moosonee is the railhead for the Ontario Northland Railroad, and can be reached by train or plane. Moose Factory is an island twelve miles from the mouth of the Moose River, which empties into James Bay, and three miles from Moosonee on the mainland. Moose Factory is the oldest English founded community in Ontario having been established as a Hudson Bay trading community in 1673. The total population of both communities is approximately 3,000 people, most of whom are Cree Indian. These two communities differ considerably from more isolated Indian communities and

from more urban northern Ontario communities. Thus the results of this study may be unique to Moosonee and Moose Factory.

The children studied comprised about one third of the population of children between birth and six years of age. They constituted a sample of convenience and were demographically representative of the area Indian population. The vast majority (91%) of the mothers' first language was English; for the remainder, all or part of the interviews were done in Cree. Most of the mothers were originally from the research area with a few from more isolated northern communities and a few from larger settlements to the south of James Bay. The typical family income was \$10-15,000 per year, but ranged from less than \$5,000 to over \$35,000 per year. Occupations ranged from the unemployed to professionals; craftsman and clerical work was most common for the fathers. Education of the parents ranged from very few with none to very few with 16 years of education; 9-10 years of school was typical. Just over half (59%) of the families derived most of their income from the fathers' salaries, the remainder were about equally split between relying on mothers' income (12%) and government assistance (14%). A few relied on traditional sources of income such as hunting in whole or in part.

The average number of children in a home in the sample was 2.9 with a range of one to eleven children. Nearly all the children who were old enough were in a day care or nursery school setting.

The vast majority thought that religion was very important in the family. The sample was 70% Anglican, with the remainder divided between Roman Catholic, Pentocostal and Baptist.

### Hypotheses

The following hypotheses guided the investigation: 1) In comparison to the general population, a significantly higher proportion of northern Ontario native children will have abnormal DDST scores. 2) The proportion of northern Ontario native children classified as having developmental deficits will be higher with the DDST than with other developmental assessment procedures used. 3) Deviation from the developmental norms of the DDST will be concentrated in children under 2½ years and in the language functional area. 4) DDST scores will correlate

significantly with selected cultural, environmental and economic factors.

The net results of the analyses of the above hypotheses should provide an answer to the following hypothesis and allow selection of the correct alternatives (5.1-5.3). 5) The DDST is appropriate to use as it was standardized to screen for developmental delay and handicap.

5.1) The DDST is appropriate to use with specified substitute items. 5.2) The DDST is appropriate to use with specified cautions. 5.3) The DDST is *not* appropriate for use in this population.

### Materials and methods

Data were collected from an unusually wide range of sources for each subject — the child, the mother, the interviewer, hospital records, clinic records and a public health nurse. Although individual items are missing, data were collected from each source for all the children.

As stated previously there were two aspects to the study: 1) the question of the validity of the DDST and 2) the questions pertaining to correlates of developmental progress.

Instruments were selected around these two aspects. Eight clusters of variables were used: developmental status (DDST), developmental ratings (mothers, public health nurses and hospital records), DDST replacement items (Mawhinney, 1981), developmental age (MCDI, Ireton & Thwing, 1974), sociocultural factors (SOMPA, Mercer & Lewis, 1977), home child rearing environment (HOME, Caldwell & Bradley, 1980), health risk and perinatal risk (SOMPA, Goodwin, 1969; Apgar, 1966).

A number of unique factors facilitated and in some cases compromised the research process in these communities. Faculty from Queen's School of Nursing have been visiting Moose Factory and Moosonee since the early 1970's. Partially because of this involvement in the area, opportunities were afforded to have informal discussions about the proposed study with local people, including the Chief of Moose Band, prior to making an official approach. As a consequence, the consent of Moose Band was quickly given when requested, with only one condition: that the Moose Band would receive a report of the results. The study

received excellent cooperation from local, provincial, federal and band representatives.

In order to involve the community and facilitate communication both between the researchers and the area and between the interviewers and the participants and to improve the quality of the data, it was decided to train local volunteers as interviewers. Volunteers were trained to administer the maternal questionnaire and the DDST. For the latter, the DDST videotapes and Training Manual (Fandal *et al.*, 1973) were used, and there were opportunities to test children who attended a pre-school class. Informal trouble shooting and training sessions were held throughout the data collection phase.

We were in the enviable position of having alphabetical lists of all of the children under six years of age which were obtained from the local public health offices. Again because of our prior contacts, relations with the federal and provincial public health units went smoothly. Any children known to be white by the PHNs were omitted from the lists; any other non-Indian was omitted at the time of the interview.

In choosing to use local interviewers we experienced some cultural variations that affected the research methodology. The first from the local mothers which we had expected: for example, a culturally different time sense, not keeping appointments, etc. The second from our interviewers, which we did not anticipate. An example of this was the sample design. The initial plan was to use a systematic sample with a random start, but in order to relieve some of the shyness of the interviewers in entering homes in which they did not feel comfortable, they chose the first group of names from the lists. In consultation with our methodological consultant this was considered to be reasonable, and it was planned to switch to random selection after the interviewers became more experienced. This switch was never made. This digression from standard practices was considered justified within the cultural milieu of the study. Everyone knows about everyone else in communities of this size. The problems with the sample were balanced by response rates, completeness and the quality of the data which are excellent.

The cultural context of the study bore strong influence on the quality of the data and the somewhat smaller than expected size of the sample. Keeping in mind the prime objective of providing an answer to

the question, "Is the DDST appropriate for Moosonee and Moose Factory children?", it was clear from the outset that the maintenance of the hard won community support of the project was essential. Our initial plan of using local women and doing the mothers' interviews and developmental assessments of the children in the homes proved to be very effective in obtaining complete data and a very low refusal rate. By all reports this strategy heightened the local awareness of the need for developmental screening. Local leaders are pleased that a corps of women has been trained to do developmental assessment. Due to informal and formal continuous communications with people in the community throughout the study there have been no objections to the project, but rather an atmosphere of intense interest and pride as study results emerged. Although we had hoped to obtain a sample size of over two hundred, the limitations of time and the varying priorities of interviewers made the achievement of complete data on over one hundred children quite acceptable.

When it became clear that the interviewers were collecting the data at an extremely slow rate despite all attempts at increasing the rate, we had two options: extend the data collection period or bring in outside interviewers. We decided to extend the data collection from three months to eight months which coincided with one researcher's sabbatical leave in the area and meant that she was on site to encourage interviewers and answer any of their questions. The second strategy was not chosen because it was felt it might interfere with the excellent community relationships established. Furthermore, a significant proportion (11 percent) of the interviews were conducted partially in Cree. Non-Cree interviewers would clearly have skewed the sample toward English speaking respondents, probably increased our refusal rate, and would not have obtained the accuracy of data which is only obtainable by someone who is fluent in the subjects' native tongue. Thus, in addition, in June 1980, 8 local high school students were trained and they completed the final 29 interviews.

### Results and conclusion

The analysis strategy and summarized results for each hypothesis are presented in Table I.

The major findings indicate that in this area the DDST is not acceptable for screening for handicaps and developmental delays, but that it is acceptable as an indication of developmental status. As a screening test for the general population the DDST is wholly inadequate and this is particularly true among the three to five years olds. In the absence of any suspicion of developmental delay and when there is a clinical need to estimate a child's developmental age, such as for accident prevention teaching, nutritional guidance, developmental stimulation, the DDST is preferable to general nurse or mother ratings. The DDST would be best used with the 1-3 year olds as a measurement of developmental progress. There was no significant difference in the results on the DDST and those from the MCDI. When using the DDST special attention should be paid to items marked "No opportunity" or "Refused" as a high number of these are related to a less than normal result. On the basis of this study the DDST is *not* recommended to follow the development of children with known delays because it is not sensitive or specific enough. Standard psychometric tests or an approach using history and physical examination would probably be more appropriate.

This applied research has achieved some measure of success in that it points the way to needed community action in regard to developmental assessment of these children.

### Acknowledgment

This study was supported by an Ontario Ministry of Health Grant no. CHSR25.

### References

- APGAR, V., 1966. The newborn (Apgar) scoring system, reflections and advice. — *Pediat. Clins N. Am.*, 13: 645.
- CALDWELL, B.M. & R.H. BRADLEY, 1980. HOME: Home observation for measurement of the environment. — Little Rock, Ark, 131 p.
- FANDAL, A.W., W.K. FRANKENBURG, J.B. DODDS, E. CAZUK & M. COHRS, 1973. DDST instructor's manual and student proficiency evaluation. — University of Colorado Medical Centre, Denver, 24 p.
- FRANKENBURG, W.K. & J.B. DODDS, 1975. Denver developmental screening test. Reference manual. — University of Colorado, Medical Center, Denver, 55 p.
- GOODWIN, J.W., 1969. Identification of fetus at risk. — *Can. med. Ass. J.*, 101: 458-464.

TABLE I  
Summary of results

<i>Research hypothesis</i>	<i>Analysis</i>	<i>Conclusion</i>
1. High number abnormal DDST's.	Percentage comparisons.	Probably not higher.
2. Higher number abnormal DDST's than abnormal with other assessments.	Sensitivity/specificity Pearson's <i>r</i> , Kappa discriminate function analysis.	Not acceptable for screening for developmental delay or handicap; acceptable as an indication of developmental status.
3. Deviation from DDST norms will be concentrated in under 2½ years and language function.	Pearson's <i>r</i> scattergrams percentage/comparisons.	Not demonstrated.
4. DDST cultural correlations.	Pearson's <i>r</i> scattergrams regression analysis.	Some not the usual correlates; high income — low DDST; high independence — low DDST. others — similar; high education expectation — high DDST. high home responsiveness & involvement — high DDST.
5. DDST appropriate as standardized to screen for for developmental delay and handicap.		Not for screening.
<i>Alternatives</i>		<i>Conclusions</i>
5.1 Appropriate with substitute items.		No difference in results.
5.2 Specified cautions.		Best with 1-3 year olds, and as a measure of developmental status.
5.3 Not appropriate.		No.

IRETON, H. & E. THWING, 1974. MCDI: Minnesota child development inventory. — Behavior Science Systems Inc., Minneapolis, 28 p.

MAWHINNEY, T., 1981. Picture vocabulary test for the Cree of James Bay. — M. Sc. thesis, Queen's University, Kingston, 35 p.

MERCER, J.R. & J.F. LEWIS, 1977. SOMPA: System of multicultural pluralistic assess-

ment: Parent interview manual — The Psychological Corporation, New York, 146 p.

WOODRUFF, M.E. & M.J. SAMEK, 1977. A study of the prevalence of spherical equivalent refractive states and anisometropia in Amerind populations in Ontario. — Can. J. publ. Hlth, 68: 414-424.





## ANALYSES FOR NORTHERN DEVELOPMENT PLANNING: A PLEA FOR APPROPRIATE TECHNOLOGY

G. HODGE

*School of Urban and Regional Planning  
Queen's University, Kingston, Ontario K7L 3N6*

### Résumé

Les concepts de la recherche et de la planification élaborés dans le Sud sont peu exportables sans modification dans les régions nordiques. Les communautés y sont moins nombreuses, les données sur le milieu plus minces, les corrélations entre les variables socio-économiques plus ténues. L'attaque proprement rationnelle des questions, basée sur les solutions techniques et la seule compétence peut ne point convenir pour la planification en milieu nordique. En l'ignorant, l'on risque de voir les analyses d'impact sur les communautés fortement déformées.

### Abstract

Planning and research perspectives for southern urban regions may need to be modified for use in northern development studies. The number of communities is much smaller, the data milieu much more meagre, and the interrelation among social and economic variables more tenuous. A professional's approach based on a reliance on rationality, technical solutions and efficiency may be inadequate for northern planning. Community impact analyses could be seriously affected.

### Introduction

As with so many things in the Canadian North, development planning and the ideas that fuel it are imported. Their source is the urban-industrial South with its associated professional infrastructure in government, business, and academia. Even if we assume that the cogent issue of potential differences in northern and southern societal values regarding the substance of a northern development project have been reconciled, there is also the need to recognize the biases of the personnel who plan, research, engineer, construct, and manage such projects. These professionals, regardless of discipline, and with few exceptions, learned their skills in research, analysis, and problem-solving in urban-based institutions dealing with urban-oriented problems. How else to explain such as the James Bay Education Centre edifice in Moosonee?

In this discussion, the point of departure is the *professional* — planner, researcher, or manager — who comes to work in a northern Canadian region like James Bay. The focus is on the *means* such persons use to look at the situation — the people, the communities, the functional arrangements — to

which the development planning is directed. Two questions best capture the thrust of this paper: how do we look at them? how can we help them to look at themselves? The concern is with more traditional analytical approaches and techniques which may be used to describe James Bay-type communities' population, economy, and with the newer, omniscient appearing impact analyses.

As implied above, the degree of expertise which can be drawn directly from northern development planning experience is still meagre, at least in published form. It is necessary to borrow and synthesize from other materials and research and to integrate them with our on-going northern experience. For this paper, the base of northern experience is two "tours of duty" in Moose Factory, Ontario: one involved a year-long association with the Moose Band in local developmental planning; the other as part of an Ontario government team planning for tourism development. The borrowing comes from three sources. The first is a recently completed study of small communities in Canada by the author (Hodge & Qadeer, 1978). Since northern communities are small, it should be possible to pass along some of the know-

ledge gained in observing and analyzing towns and villages generally. The second second-hand source is a study in progress by the author concerning land use patterns in communities in the Yukon and Northwest Territories (Frackowiak, 1979). The third is the concept of "appropriate technology", largely pioneered by Schumaker (1974), for use in small scale, less developed regions. It seems to this writer that Schumaker's admonitions are pertinent to James Bay and the rest of the Canadian North; one example :

"...world poverty is primarily a problem of two million villages, and thus a problem of two thousand million villagers. The solution cannot be found in the cities..." (p. 162)

This paper, of necessity, explores only a few examples of how our planning and research perspectives might need to be modified for use in northern regions. There will, first, be a look at the types of communities and the data milieu one encounters. Next, there will be a look at methods for analyzing population and economic base of small communities. A brief comment on the vogue of social impact assessment will complete the discussion.

### **Community context in northern development**

In the North the community context is a crucial factor in development planning. Whether the development planning derives from the board-rooms of the South or is locally initiated it will be much more intimately associated with a particular community than is the case in widely settled regions. For one thing, there are very few communities in the North (there are less than 120 in our two northern territories). For another, the communities do not form a functional integrated network one with the other, even on a sub-regional basis such as James Bay. It is the community in the North which becomes the centre of attention in the planning for development, for either it is the subject of the planning or is the only gateway through which the surrounding territory can be developed.

And what of these communities themselves? In terms of population, they are all small in numbers. Of the ten communities around James Bay, none currently exceeds 2,000 population, and eight of the ten have 800 or less. The best that can be said of their

population growth is that it is erratic. In terms of economy, the following are typical characteristics: (a) There is almost no economic growth; (b) The bulk of economic activity is devoted to serving the local population; (c) Most salaried jobs are provided by public agencies; (d) Few local activities are functionally linked together; and (e) There are high levels of under- and unemployment.

In the sort of community circumstances described above two of the most fundamental planning studies — a population projection and economic base analysis — are rendered almost pointless. Population projection is difficult for communities like those around James Bay because they do not fit well with our population models which are, essentially, growth models. Not only are the basic factors of population change, natural increase and migration, fitful but also there is no regular pattern of economic development to stimulate and sustain growth. In large part, the difficulties stem from the small scale of the population. Small absolute changes in numbers can result in large percentage shifts in population. And, as well, the small population is an aggregate of many small size age groups which are not statistically stable.

Three general rules-of-thumb in the area of population analyses for northern communities may avert fruitless activity regarding small northern (and even non-northern) communities. (1) Statistical means are usually not meaningful. (2) Percentage rates of change are usually misleading. (3) The most reliable population forecasting method is linear extrapolation. The latter point is borne out by a recent study of various forecasting techniques involving several thousand small centres (Isserman, 1977). Of course, this assumes one can obtain the requisite data to work with. Since virtually all communities in the North are unincorporated, the normal array of population statistics is not published or even readily accessible. Field studies are, thus, appropriate and, fortuitously, are fairly manageable given the small numbers of people involved.

Economic base studies have major conceptual limitations in the setting of northern communities. The foundation of these studies is export trade theory as well as Keynesian multiplier analysis. The trouble with communities in James Bay and most other northern regions is that the "export" sector of the economy hardly exists. The primary sources of income are locals servicing one another

(sometimes referred to as taking in each other's washing) and transfer payments from senior governments. Thus, traditional economic reasoning with regard to new development projects should give way to studies custom-made for the situation, studies that will suit volatile resource development tendencies as well as acknowledging limited long term multiplier effects in the domestic sector.

Since a community economy in the north is almost the same as the economy of the sub-region it is in, some regional economic analytical tools could appropriately be adapted. By using concepts from regional social accounts (Isard, 1960) one can describe the main economic relations for a community. The accompanying diagram (Fig. 1) was derived for the Moose Factory-Moosonee community economy from a simple survey of firms and government agencies requesting figures on employment, wage bill, total sales or operating budget, and source of purchases

and sales (Ontario Ministry of Industry and Tourism, 1975). Another useful economic tool that has recently been applied in an analogous region, the Lesser Slave Lake area of Alberta, helps understand the all-important matter of who gets the jobs in frontier development situations (Webster, 1979). An employment chain approach tracks the responses of workers to a newly-created job and the possible succession of moves in the local labour force that might be occasioned by the expansion of jobs. This approach is simple, direct, and provides very rich information. Again, because northern communities are small, it is possible to obtain detailed information by field studies; one does not need to rely on conventional models which are probably more appropriate to growing, integrated industrial economies.

One other aspect of planning analysis that is not fruitful in northern communities is to follow the urban planner's notion of the relations between employment, population,

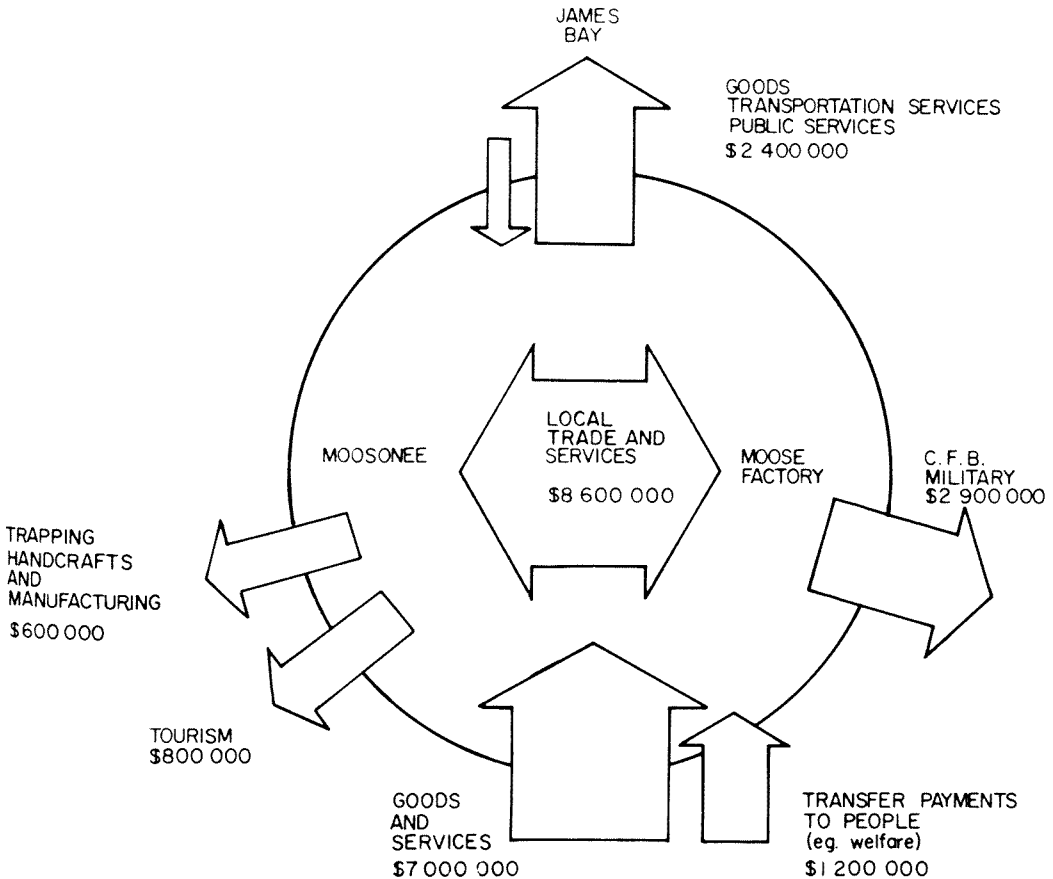


Figure 1. Trade relations of the Moosonee-Moose Factory area, 1974.

households, housing and community land use. This relationship works in market-oriented land use situations in larger places. It is not very helpful in small towns in the South and is probably irrelevant in most northern communities where land ownership is mostly in public or communal hands.

### Assessing social impact assessment

The centre-piece of impact assessment, social or otherwise, is *prediction* of the effects resulting from *interventions* in an *on-going system*. Most impact assessors confess to the difficulty of making predictions in the social sphere, but few seem deterred (Morris, 1979). However well-developed the methodology of social impact assessment seems, it is, in many respects, an art of illusion. And, as difficult as social impact assessment is in on-going systems in urban-industrial contexts, in the small scale and unique community environments of the North it may be downright misleading.

Leaving aside the impression that social impact assessment is used as much for public relations purposes and cooptation, a brief review of some of its vital principles will reveal methodological and intellectual shortcomings. Impact assessment usually tries to provide predictions WITH and WITHOUT the proposed project in place. It may seem that the former condition (the community with the project) would be the most difficult to predict. Given the discussion above concerning normal planning predictions for population and the economy in northern communities the latter condition (without a project) is apt to be just as difficult. There is also an air of unreality about this type of before-and-after comparison in a social impact assessment of northern communities. For one, the trend of a community without the project will probably be much the same as it has been. Local northerners know this, so for whom is this condition being predicted? For another, the size of development projects currently on the agenda for the North will dwarf any community they're involved with. That there will be major and community impact is self-evident, so why is this condition being predicted?

It seems more sensible and humane not to try and persuade the developer (the proponent, as the literature calls them), much less the community, of the palatability of the degree of change. Rather, the preservation of the community's integrity is likely to be the

more vital issue. If that goal is sought, the more appropriate technology is community development planning, not impact assessment. Given the ephemeral nature of much activity associated with northern development projects, an affected community often faces a return to a steady state, even if at a higher order. The planning task may, as much as anything, be how to function after the impact.

There are many other issues surrounding the validity of social impact assessment, such as how to incorporate both unintended and unanticipated effects into the impact assessment. Another issue involves how to consolidate the different kinds of impacts found for different parts of a region. As a final example, take the case of planning a major tourism project for Moose Factory. Impacts of such a project would at least occur (a) in northeastern Ontario's tourism, (b) in the infrastructure of each of Cochrane, Mooseonee, and Moose Factory, (c) in the physical and social development of Moose Factory, and (d) in the reserve community of the Moose Band. The problem of aggregating the impact analyses for each level is not difficult to imagine.

### Conclusion

It is somewhat a truism in social science research that the problems one chooses to look at as well as the means chosen to look at them are value laden. Usually this implies that cultural differences may exist between, say, the community being observed and the observer. The plea in this paper is for recognition of a special variant of this problem: the substance of northern development situations may differ markedly from those used as referents by professionals.

In other words, professionals embody in their approach an emphasis on reason, technical capability, and efficiency but these values may fit neither existing community situations in the North nor aid in projecting new community development. In an era of very large scale projects in the North, the effects of inappropriate approaches will be more profound than some of our previous misjudgements such as the utilidors at Inuvik. It seems imperative that professionals who guide the planning and development of northern projects be able to acquire ways of appreciating the North and its communities in its terms. That is, they need to appraise their methods of analysis for its appropriate-

ness and, where necessary, be prepared to invent more suitable kinds.

### References

- FRACKOWIAK, E., 1979. Planning for Canada's northern communities — Unpublished M.P.L. Report, Queen's University School of Urban and Regional Planning, Kingston, Ontario, 90 p.
- HODGE, G. & M.A. QADEER, 1978. Towns and villages in Canada — A report to the Canada Ministry of State for Urban Affairs. Queen's Univ. Sch. Urban and Regional Planning, Kingston, Ontario, 212 p.
- ISARD, W., 1960. Methods of regional analysis — M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 502 p.
- ISSERMAN, A., 1977. The accuracy of population projections for subcounty areas — J. Am. Inst. Planners, 43: 247-259.
- MORRIS, P., 1979. Guidelines for a social impact assessment methodology — Petro-Canada, Calgary, 57 p.
- ONTARIO MINISTRY OF INDUSTRY AND TOURISM, 1975. Moosonee Moose Factory tourism development plan — Hough, Stansbury Associates, Toronto, 90 p.
- SCHUMAKER, E.F., 1974. Small is beautiful — Abacus, London, 255 p.
- WEBSTER, D., 1979. A regional development application of employment shifting concepts: DREE's Alberta special area program — Plan Canada, 19: 226-236.



## **BIG TROUT LAKE, ONTARIO. I: AN EXAMPLE OF COMMUNITY DECISION MAKING**

A. P. ZIMMERMAN

*Department of Zoology, University of Toronto  
Toronto, Ontario M5S 1A1*

T. JACKSON

*International Council for Adult Education  
252 Bloor Street West, Toronto, Ontario M5S 1V5*

M. G. MCGARRY

*International Development Research Centre  
60 Queen Street, Ottawa, Ontario K1J 3H9*

W. RYBCZYNSKI

*School of Architecture, McGill University  
3620 University Street, Montréal, Québec H3A 2B2*

and

A. V. WHYTE

*Institute for Environmental Studies, University of Toronto,  
5441-A Young Street, Toronto, Ontario M5S 1A5*

### **Résumé**

Le choix d'un niveau convenable de service d'eau potable et de services sanitaires en fonction des ressources locales, des désirs de la population, de sa capacité et de sa volonté de payer n'est pas une tâche très difficile si la communauté en question est impliquée dans le processus de décision. Le choix d'une technologie et de l'ampleur de l'investissement est également rendu plus facile si l'on tient compte de «l'expertise» même des usagers. Il est surprenant de constater que les autochtones du Nord canadien n'ont jamais — ou rarement — l'occasion d'être impliqués dans les processus d'aménagement ou dans les prises de décisions. En général, ces dernières sont prises en dehors de la communauté autochtone, car l'on considère que celle-ci ne possède ni la main d'œuvre, ni la compétence, ni l'expertise nécessaires. Les experts consultés quant aux plans et devis des systèmes d'aqueduc et d'égoût viennent du Sud. En raison de la forte compétition pour les contrats, ils se doivent d'agir rapidement, réduisant alors au minimum le temps passé localement, au sein de la communauté. En dépit de bonnes intentions, leur attitude devient très paternaliste et conduit à retirer à la population toute participation aux décisions. Dans ce contexte, il est peu probable que la situation générale de dépendance des autochtones à l'égard des gouvernements change dans un avenir prochain. Nous croyons néanmoins que la méthodologie adoptée dans le projet que décrit cet article représente un exemple de recherche fructueuse auprès de la communauté autochtone de Big Trout Lake (Ontario) et de participation de sa part quant à la planification de systèmes d'approvisionnement en eau et de systèmes sanitaires. Ce «modèle» peut être adapté pour faciliter les prises de décisions d'autres communautés nordiques, voire même pour des prises de décisions impliquant des groupes mixtes d'autochtones et de non-autochtones.



### Abstract

This paper presents some of the issues facing implementation of water and sanitation facilities in Canadian subarctic communities which include native peoples. Limited technological expertise, the remote location of the community and donor agency requirements often result in "southern" consulting firms being contracted for design and implementation of water and waste disposal systems. Competition for contracts dictates that time spent in the community be minimal and hence opportunities for community participation are virtually nil. Terms of reference and/or fear of failure often preclude a design which may be less familiar yet more appropriate for the situation. Despite good intentions, a patronizing relationship often develops in which key decisions on resource allocation, technology selection and implementation are removed from the community. Thus opportunities to develop community self-confidence and to gain problem solving experience are lost and an attitude of continuing dependence is fostered. While we recognize that the broad situation of native peoples' dependency on federal and provincial government support is unlikely to change in the immediate future, this paper describes an example of community participation in the design of water supply and sanitation facilities in Big Trout Lake Ontario. We feel aspects of this model can be appropriately transferred: not only to other northern communities facing decisions on waste water treatment options, but to a variety of decision making situations involving native and non-native groups.

### Introduction

Big Trout Lake is a large, deep, oligotrophic lake located in the central Patricia's region (53°50' N, 89°53' W) of northern Ontario (Fig. 1). It is also the home of nearly 700 Nishnawbe-speaking native people and approximately 60 non-native people, the majority of whom are government employees. Big Trout Lake is an isolated community, accessible only by air. Most of the community's homes, as well as commercial buildings, are located on Post Island, which is joined by a causeway to several small clusters of houses on the mainland (Fig. 1). For a considerable period of time, the native people of Big Trout Lake have been concerned about the deteriorating quality of the water surrounding Post Island. These concerns focus on the future of the lake fishery, on the quality of drinking water, and on the fear that the loss of these resources will mean the inability of future generations to follow the traditional native way of life.

The original purpose of our work in Big Trout Lake was an environmental assessment of a proposed waste-water collection system. It is not the intent of this paper to report extensively on the results of that assessment. That has been done elsewhere (Jackson *et al.*, 1978; McGarry *et al.*, 1980; Campbell, 1980; Zimmerman *et al.*, 1982). However, we feel that the methods we used in the project provide a model of a successful exercise in participatory research and native community decision-making. Equally important, the history of the situation

provides a case study of the imbroglis that can develop when technology choice decisions are made without consulting the community the technology is intended to serve.

Big Trout Lake is a large community by comparison with many other non-road accessible, northern locations and is perhaps one of the most dynamic native communities north of the 50<sup>th</sup> parallel in Ontario. There is scheduled air service into Big Trout and an all weather runway. All commercial establishments and non-native homes have electricity as do some native homes. Satellite-relayed television will soon be available and most homes have telephone service. A high proportion of young people are educated through high school and some have university level educations. Big Trout Lake has had some experience with community-based educational programs. The native run radio station, the day-care centre, the log-building program and furniture co-op and the band administered alcoholism program are some examples of particularly successful projects. The BTL Band Council has been working steadily towards goals of self-determination and local government for the community, and there is strong agreement from the residents that any successful community program is characterized by a good working relationship between the program initiators and the Band Council.

By comparison to other communities in northern Ontario, Big Trout Lake is in an exceptionally good position to take advantage of participatory research. Therefore a major

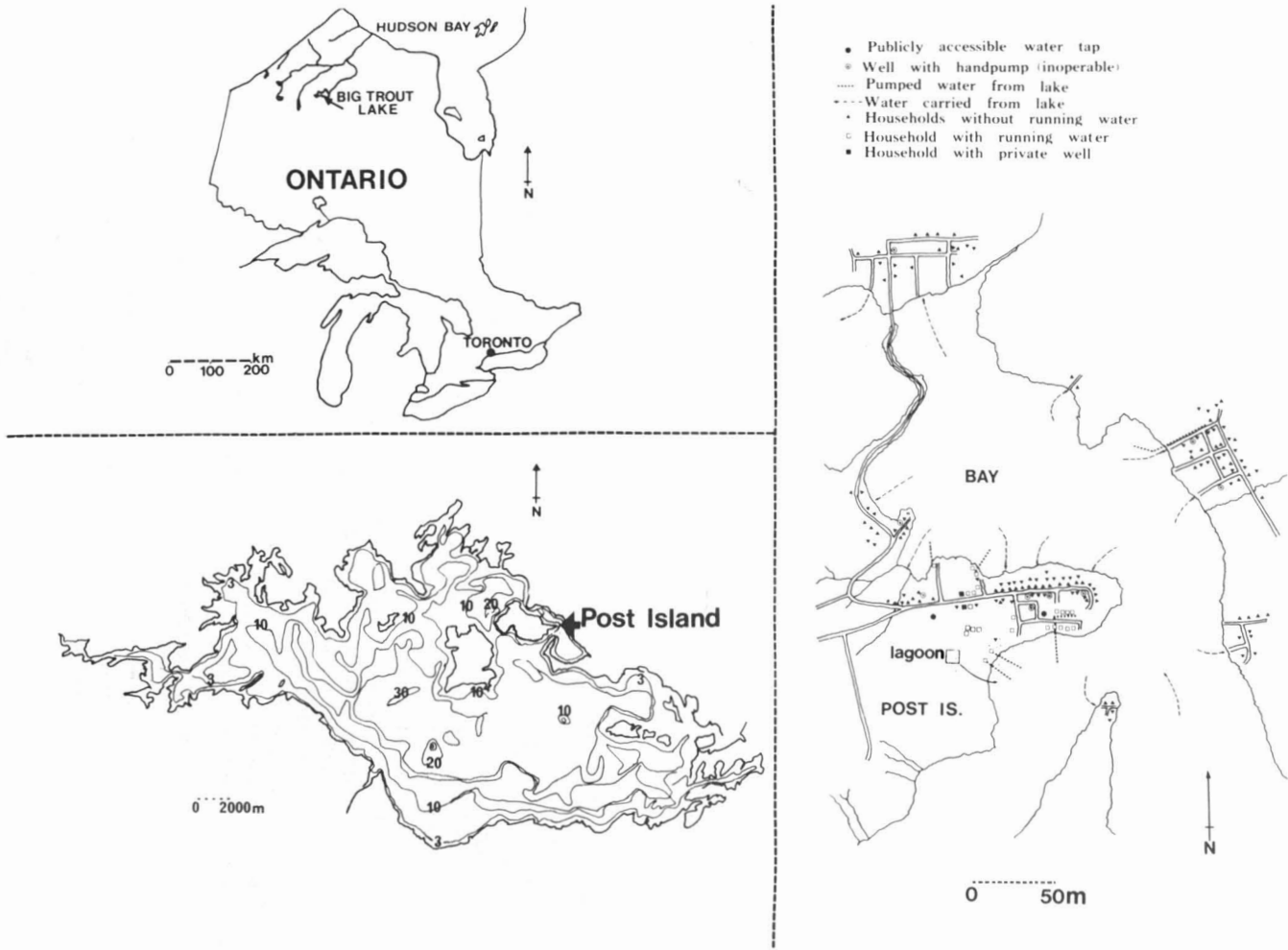


Figure 1. Location of Big Trout Lake and sources of water for Post Island and the surrounding communities.

implicit goal of our work was not only to help set up a structure whereby this particular Band could solve its problems, but also to provide a participatory research model for other, less experienced native communities. We feel aspects of this model can appropriately be transferred: not only to northern communities facing decisions on waste water treatment options, but to a variety of decision-making situations involving native and non-native groups. Development of northern resources will only escalate in the future. The need for local community education and local decision-making ability to be integrated into that development process is essential. We feel that our experiences provide an alternative to the more traditional, often patronizing, approach of decision-making for native communities.

### Historical perspective

The validity of the concern of the people of Big Trout Lake for the quality of their water was underscored in 1972 in a report to the federal Department of the Environment (Connelly, 1972) which determined that the lake water had become contaminated by improper waste disposal techniques and was, at times, unsafe for human consumption. In addition, the report referenced the statements of an Underwood, McLellan and Associates report of 1966 which had stated that continued and expanded use of septic tanks and drainage fields could only give rise to further pollution and continue to aggravate the condition of the existing water supply system. They had recommended in 1966 that a two cell lagoon, located on high ground was required. Connelly pointed out that failure to follow those 1966 recommendations and instead build a single-cell lagoon on lower ground had indeed resulted in continued pollution of the community water supply due to the continuous discharge of the lagoon directly into the lake.

In addition to the problems associated with the existing sewage lagoon, Connelly also re-identified the sewage disposal system practices of the Department of the Environment (DOE) complex, the Hudson's Bay Company, the aircraft facilities as well as certain pit privies in the community as other contributors to the pollution problem. Connelly's final conclusion was that "every effort should be made to co-ordinate an anti-pollution drive with liaison among the various federal agencies, commercial establishments

and the residents of the community to ensure that the water quality near Post Island does not deteriorate further."

In 1975, detailed specifications for an integrated waste-water collection and treatment system were completed. The system, at an estimated capital cost of \$275,000 (in 1972 dollars), was to serve the DOE complex, Hudson's Bay, the nursing station, the school, the Anglican Church and the Band Council Hall. No native homes were to be included. Furthermore, no documents from the environmental study, the feasibility work, or the specifications of the system were forthcoming to the Band between 1971 and 1975. This decision was made despite the fact that Connelly had stressed the importance of liaison with local residents, that some native home pit privies had been identified as contributors to the water pollution problem and that various parts of the sewage collection piping system would cross Band property.

The buoyancy of the construction industry in southern Ontario in the middle 1970's meant that no private firm bid for the sewage construction project. Consequently, the federal Department of Public Works was charged with construction of the system. The beginnings of construction took the native people of Big Trout Lake by surprise. Experience with the currently malfunctioning single cell lagoon gave rise to strong doubts among many in the native community as to this new sewage system's ability to prevent further contamination to the lake. Tension built up as construction continued until the fall, when the Department of Public Works began blasting along some unmarked graves on Post Island. The recently-elected Band Council was appalled and in October of that year they stopped the project.

Empowered, under the Indian Act of Canada, to control access to the Reserve, the Band Council passed a strongly-worded resolution which made it clear that construction of the sewer would only resume after several conditions were met. Among these, the key demands were that the sewer route should bypass the cemetery; that peripheral lines should extend to native homes; that the Department of Indian Affairs and Northern Development (DIAND) provide funds for the Band to hire its own consultants; and that copies of all relevant studies, report plans and specifications be given to the Band. After a flurry of inter-departmental meetings, DIAND advised that the project had been

cancelled for that fiscal year. Relations between the Band and the three federal Departments (Environment, Health and Welfare and DIAND) soured. Non-native residents resented the fact that they did not get the improvements to their waste-water collections system that had been promised. Native/non-native relationships as a whole deteriorated as resentment spilled over into other areas of community life.

In late 1977, after a long stalemate period, the DIAND district office assured the Band Council that money was available for the Band to hire independent consultants. The Council drew up the terms of reference for an environmental assessment of the sewage system. Their terms of reference included: an analysis of both the environmental impact of the system on the Big Trout Lake ecosystem and the socio-economic impact on the community; an overview of the proposed system's reliability and maintenance expectations; the cost effectiveness of the system and any recommendations for alternative water supply and sewage treatment systems.

This last point of recommendations for alternative water supply and sewage treatment systems is important. Previous engineering reports for the construction of a sewage system in Big Trout Lake had addressed only options utilizing high technology solutions. However, the engineering firm neither should nor is being singled out for blame. It is often the case that engineers are tied down by inappropriate terms of reference which preempt their selection of alternatives. We have not seen the original terms of reference in this particular case, but in retrospect, it developed that individuals from the Environmental Protection Service of Environment Canada responsible for the project during the period of time we were associated with the Band, had never been to Big Trout Lake.

Contrary to Band expectations, funds were not immediately available to the Trout Lake Council from DIAND. They consequently voted to use their own capital reserves for the purpose of the assessment. It was at this point that the "southern team", as we came to be called, was assembled under the auspices of the Participatory Research Project of the International Council for Adult Education. The composition of the team assembled to work for the Big Trout Lake Tribal Council reflected the professional requirements of the Band for technical expertise in sanitary engineering, appro-

priate technology, environmental health, participatory research and limnology. We felt it was of additional importance that all team members had had extensive international development experience in water supply, sanitation and cross-cultural problems. The consultants understood that they were Band employees and arrangements for fees and expenses were based on need, rather than on the normal consultant fee scale, in order to hold costs to a level that the Band Council could afford. Consistent with the participatory research approach, it was agreed that the community should direct and carry out the research to the maximal extent possible. It was also agreed that the research should be an educational process and of direct benefit to the community.

### Research model

#### PHASE I: MAY-DECEMBER 1978

The first research phase was of approximately seven months duration. In contrast to the second phase of the research, this section was directed primarily by the consultants. In May 1978, the southern team met to collectively plan an intensive field visit to Big Trout Lake, identifying critical issues and unanswered questions. In June we travelled to Big Trout Lake and worked there for one week, accumulating 300+ man-hours of consultation time. We each lived with a native family to whom we paid room and board, hauled water and helped prepare meals. These activities proved extremely important both to our perceptions and to how we were perceived in the community. No other consulting team who had been into Big Trout had ever lived in a home without running water, nor had they been seen entering an outhouse or carrying a bucket of water.

Most of the first visit was involved with chemical analysis of lake water, lagoon and lagoon discharge; assessment of the proposed DIAND system from reports, interviews and inspection of various pieces of equipment remaining in the community; a survey of native and non-native water sources; determination of local practices for water supply and water use; a survey of excreta disposal systems and practices for native and non-native households; unstructured interviews with native families in their homes; community dialogues at general

meetings and group dialogues with the Band Council. Local residents assisted in the interpretation needed for these activities, provided transportation where necessary and helped in collection of water samples. Interim results from data collection were immediately fed back to the community in Nishnawbe during general meetings and over the radio. We also organized a radio phone-on show.

#### Findings

As will be reported in Zimmerman *et al.* (1982), point sources of sewage discharge were easily identified. In addition, nutrient levels in the vicinity of the community were considerably higher than those elsewhere in Big Trout Lake. Faecal coliform levels were unacceptably high in all sample points near the community. In light of the fact that the waters surrounding Post Island form a shallow quiescent bay, the conclusion was reached that all sewage inputs would have to be contained in the future if cultural eutrophication and faecal contamination of the bay were to be stopped.

Improvement in lake water quality is a necessity since over a third of the native community takes its water supply directly from lake or creek sources. The remainder rely on taps located at the weather station and school. The weather station water supply is also from the lake but receives filtration. The school supply is from a drilled well (see additional information on water supplies in Figure 1). Eighty percent (80%) of the native population use snow, lake water or ice cut from the lake as a drinking source during the winter when the weather station tap is not

available to native users. Seven boreholes fitted with hand-pumps were used for a short time between 1971 and 1973. All subsequently failed through mechanical breakdown and lack of maintenance.

In the morning, members of the family wash their hands and face while fully dressed using a small bowl of 0.5-1 litre of warm water. During the day, a similar bowl of soapy grey water is left in the kitchen to enable people to wash their hands. Pit latrines are used by the native population for defecation, and serious problems with latrines are reported in the spring when liquid overflow contaminates the ground and the lake ice surface. It is during this period that shigella and hepatitis infections are reported at peak incidence rates.

Water is carried over distances of some 100 to 300 m. We found that the quantity of water used per person per day did not vary with the required cartage distance between household and water source (Table 1). Usage averaged 5.4 litres/person-day with a range between 1.4 and 9 litres/person-day. Additional water for laundry and house-cleaning purposes raised this range to 9-14 litres/person-day. A water vendor operates within the community to whom people pay \$0.50 per 25 litres, and many women in the community take advantage of the vendor for water for washing clothes.

The distinction between native and non-native housing is an important one in the context of waste disposal practices and water supply. All the non-native houses have running water inside the house. It is esti-

TABLE I  
Water consumption and storage capacity of nine sample families

Family size		Distance from service		Drinking water (litre/family /day)	Drinking water consumption (litre/person/day)	Drinking water storage capacity (litre)	Laundry water use (litre/week)
Adults	Children	Walking (m)	Boat (km)				
4		275		18	4.5	22	90
4	1	92	1.6	18	3.6	22	90
2	1	92	1.6	4.5	1.4	22	90
2		92		18	9.0	22	90
5		229		45	9.0	72	112
2		128		7	3.4	18	72
3	3	305	1	45	7.2	45	90
2	4	305	1	22	5.5	45	90
2	4	61	0.06	27	4.5	45	45
Average					5.4		

mated that the non-native produces about 130-220 litres/person-day of waste-water as compared to 9-13 litres in native houses.

The concerns of the community were lucidly expressed at the general meeting of the Council. Many residents expressed the opinion that the taste of water around Post Island had changed over the past two decades, and several were travelling three and five kilometres into the main body of the lake to get "fresh" water. They felt that diarrhea and dysentery, particularly among the young were directly related to "pollution" of their drinking sources and were worried that the potential effects of this pollution on fish and water-fowl were irreversible. There was serious concern that future generations would be unable to follow the native way of life as a basis of livelihood if the situation continued.

### *Recommendations*

We felt that the problems of waste-water treatment and water supply were inseparable. Secondly, we felt that introductions of improvements to water supply and sanitation had to be regarded as a dynamic process. We found no single technology currently operating in Big Trout lake and felt there was no single technology that could be uniformly applied and afforded by the community.

In practice, few low-income communities anywhere employ uniform technologies, and many consultants are faced with deciding not only what level of service will maximize return on investment but what level of service the community and government can afford. For low-income communities particularly, over-investment may be as detrimental as underinvestment. In addition to concerns of appropriate investment level, we felt that overdesign of a system would restrict the number of potential users, and would consume funds which could better be put towards reaching a larger segment of the population. We also wanted to avoid setting excessively high standards for design and construction in order to avoid placing constraints on the number of households which could ultimately benefit. We were particularly concerned that excessively high standards combined with the native desire for improvements in sanitation would result in postponement of any construction until the entire community could afford high technology.

We felt that there were several alternatives available for the supply of water and removal of wastes, each providing a different level of service with corresponding capital and operating costs. These are set out in a waste disposal/water supply matrix in Figure 2. Associated capital costs and operating costs (underlined) are given. It was our intention that various sectors of the community would enter the matrix at different levels. For example, non-native homes with septic tanks could be pumped out by truck as soon as one was available; water could be delivered immediately to all homes; while improvements in native homes could be undertaken as funds became available.

It is important to emphasize, particularly with reference to Hodge (1982), that this matrix was designed specifically for Big Trout Lake, and reflects the current and future needs of this particular community. While the matrix may be transferable to other northern communities, it should not be done so without the full cooperation of the users. Wide discrepancies exist in the quality of housing, levels of services, willingness-to-pay, expectations and desires of the individuals in northern communities. These discrepancies are aggravated in those communities like Big Trout Lake in which there are major complexes such as nursing stations, schools and other government installations, often with existing piped water supplies, that require a certain minimum level of service. In communities with smaller populations or different priorities, the matrix might conceivably be only 2×2 or 3×3. A draft of our findings was taken to Big Trout Lake in August, 1978 and discussed with the Band Council. Responsibility for assessment of the report was transferred to the Big Trout Lake Health Committee.







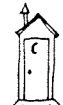



### PHASE II: JANUARY-OCTOBER 1979

Following the submission of our draft report to the Band Council, the research took on a decidedly different tone. We had wanted Band members to help in the writing of the original, rough draft of the report. However, demands on Council members in their own communities precluded initial participation in the short time available for draft-report completion. With the turnover of responsibility for assessment and comment on the report to the Health Committee, members of Trout Lake began to control the direction of events. The Health Committee summarized our draft report into a ten page

question and answer format suitable for translation into Nishnawbe, identified repair of the handpumps as a first priority, and chose a date in February of 1979 for a community wide seminar to evaluate the technical options recommended by the consulting team. Copying the participatory approach, women of the community successfully funded a project for establishment of a day care centre, while one Trout Lake resident wrote up the findings of that and other research and presented them in Ljubljana, Yugoslavia at the International Investigative Forum on Participatory Research (Hudson, G., pers. comm., 1980). In all, by the completion of the final version of the assessment report, 15 native residents had written or co-authored 7 appendices.

By January 1979, the ten-page summary of our report had been translated by two local women and reprinted in the *Wawatay News*, a native newspaper. In mid-February, a group of thirteen Big Trout Lake women

met with the two local Health representatives in a meeting to evaluate the technical options set out in the report. The organizer of the meeting summarized the major "decision-point" issues from the report, and a detailed technical discussion by the women followed on the local applicability of outhouse improvements, trucked water delivery, storage tanks, handpump improvements and rain-water collection. This group generated a host of technical ideas on all options, and formed the basis for determining the willingness to pay for technological improvements in the community. A plan was developed for restructuring the attics of homes to permit installation of storage tanks and a method developed for heating handpumps to prevent their freezing. The women also drew floor plans, first of their existing homes, and then as they would like them to be with water supply and sanitation improvements. Ultimately the results of this study comprised one appendix in the final report to the federal government.

Bucket from doe lake & school 	0 (0)	40-50 (0)	300-350 (50)	500-600 (0)	
150-200 (0) Rainwater 	150-200 (0)	190-250 (0)	450-550 (50)	650-800 (0)	
80-100 (15) Hand-Pump 	80-100 (15)	120-150 (15)	380-450 (65)	580-700 (15)	
2000-2200 (25) Street-Tap 	2000-2200 (25)	2040-2250 (25)	2300-2500 (75)	2500-2800 (25)	
 Truck System					1800-2000 (500)
	Outhouse-OH  0 (0)	Improved OH  40-50 (0)	Improved OH plus liner  300-350 (50)	Mouldering Toilet  500-600 (0)	Truck System 

**\$ FIGURES:**  
**CAPITAL COST PER HOUSEHOLD**  
**(-) ANNUAL COST**

Figure 2. The waste disposal/water supply matrix. The capita-year costs are per house.

A major community seminar was held from 28 February through 2 March: 100 copies of the report summary in Nishnawbe and 50 copies in English were distributed. The lagoon system and various technical options were explained by the consultants using slides and drawings. The cost of sewage pumpout, water delivery and lagoon location were identified as critical questions by those in attendance. It was decided to try a plastic liner and truck pumpout of sewage at the new day care centre. The results of this meeting comprised an additional appendix for the final report.

In mid-May, we were asked to return to Big Trout Lake, to assist in the location of an acceptable lagoon site. Members of the Band and consultants flew over areas on the mainland while another consultant and a Band member travelled over land to evaluate sites from ground level. Later in the month, two local residents were selected by the Health Committee to travel to Winnipeg for a two day course in well development and handpump maintenance. At the same time, the Health Committee and consultants prepared a proposal to DIAND to fund eight new handpumps and the tools and parts for repairing the old ones. An appendix on well development and handpump upgrading written by the Trout Lake Health Committee resulted.

In June, 1979, we were asked to accompany three Big Trout Lake residents — two male Health Committee members and a woman Elder, on a trip to Baker Lake, NWT. The purpose of this trip was for the group to study Baker Lake's community wide trucked water delivery and sewage pumpout system which services 1000 local residents. The Big Trout Lake group itself conducted interviews, made field observations and reviewed documentation. More than 100 photographs were taken by the individuals from Big Trout Lake. The photos from Baker Lake were put on display in Big Trout and the strength and weaknesses of the trucked system discussed.

A final meeting was held in October 1979 in Toronto with representatives of the three government departments, the southern team and six Band Council members (a quorum). The purpose of the meeting was primarily to review the report for Environment Canada, who ultimately funded the study at \$25,000. Certain Environment Canada personnel continued to pursue at least the extended aeration (EA) treatment portion of its original

sewage treatment proposal, presumably due to a fiscal bias. As reported in Zimmerman *et al.* (1982), the extended aeration treatment plant has a poor record of performance in the North, had no phosphorus removal capability as planned and was not sized to serve the whole community. It was not an option recommended by the consultants. From the community's point of view, the EA plan suffered further from simple association. Failure to recommend the EA option led to some conflict between officials of EPS and the consultants which tended to drag out the meeting, and detract from its original intention. In the afternoon, the Big Trout Lake Band Chief cut off further discussion and announced that the Band had made its decision. He then read a Band Council Resolution for the following course of action: 1) Implementation of a comprehensive community-wide water and sewage system. 2) Allocation of resources for design and adequate costing. 3) Allocation of immediate funds for handpump improvement and latrine upgrading as outlined. 4) Reservation by the Band of the right to select consultants. 5) Reservation by the Band of the right to select a lagoon site. 6) Allocation of funds to be separate from normal community capital costs. The meeting concluded with an agreement by DIAND to initiate an official "project team" that would develop a submission to the federal Treasury Board, directed towards meeting the objectives of the Resolution.

#### STATUS REPORT

At the time of this writing, we are aware of no official reaction from any of the government departments to the Band's position, despite the fact that DIAND is bound, under the Indian Act, to follow a Band Council Resolution. At present the Band is attempting to secure financial support from private foundations or alternative governmental sources for a major trucked water supply and waste demonstration project.

#### Conclusion

Selecting the appropriate level of technological service on the basis of convenience, desire and the ability and willingness of the community to pay is not difficult if the community itself is brought fully into the planning process. The choice of the appropriate level of technology and investment is likewise facilitated when the expertise of the users is



taken into consideration. This latter point is particularly relevant in northern communities given the almost exclusively one-way transfer of technology from South to North.

No one else is as likely to make the best decision as to the appropriate course of action as the individuals who are directly involved. Surprisingly, native people are seldom, if ever, brought into the centre of the planning and decision-making. Despite some good intentions, and often, in our experience, due to a bureaucracy based lack of accountability in government departments, the prevalent model of decision making is for native communities rather than by native communities. Decisions are generally removed from the recipient community on the basis that it lacks the necessary manpower, capability, or expertise. This attitude mitigates against self-confidence and the opportunity to gain experience in solving problems. Yet it is for the benefit of the native community that the investment is being made.

The historical perspective on decision-making processes in native communities suggests that the current situation is all too often bound up in the wider matrix of conditions surrounding native dependency on federal and provincial government support. Realistically this broader situation will change slowly. However, the initiation of an environmental assessment by the Band Council of Big Trout Lake and the subsequent example of participatory research presented here, provides one example of an alternative approach.

Officials from several government agencies have suggested that this model is not readily transferable since Big Trout Lake appears more receptive to the participatory approach to research and problem solving than other native communities. Our continuing research into water supply/waste treatment solutions in nearby satellite communities suggests that these officials simply do not understand nor apparently do not care to understand the native viewpoint. This attitude is not restricted to technology related issues. A report tabled in the House of Commons December 7, 1981, points out that native associations have been arguing in vain for three years for \$40,000 to hire consultants to help them approach the issue of increased employment of native Canadians in the public service, a participatory program promised them in 1978 (Montgomery, C., Toronto Globe and Mail, 8 December, 1981).

The experiences reviewed both here and elsewhere in this symposium (Zimmerman *et al.*, 1982), outline one model for consultants to native groups. We feel we were successful primarily because we were willing to be flexible, gave immediate and continual feedback to the community, and provided for translation of that feedback as well as translation of any written material that we provided. In communities with less experience in community based research, an important step for the consultant would be to arrange for individuals from the less experienced community to interact with native people from the more experienced community.

Our results suggest that native people can and want to make their own decisions. To do so, they must be thoroughly informed and have enough time to evaluate all their options. The need-to-know of native communities should define the role of the consultant. That role should be restricted to the translation, transmission and explanation of technical information, possibly with some initial help in writing reports and proposals, whether that consultant is from the government or the private sector. Initially, it is also important that the consultant be perceived as committed to native self-determination. The October 1979 Big Trout Lake Band Council Resolution shows that native communities can act to make informed decisions. They feel it is now up to the government to demonstrate that it can respond in a commensurate fashion.

### Acknowledgments

The authors would like to thank all the residents of Big Trout Lake, Ontario for their courtesy and helpfulness. Particular thanks are due to Bill Morris, Simon Sainnawap, Jim Morris, and Grace Hudson who acted as interpreters; Joseph Morris, Grace Hudson, and Eliazore Anderson and their families for their hospitality; John Cutfeet and Bill Sainnawap who translated our progress reports over the radio into Cree and finally Chief Stanley Sainnawap, Gerry McKay and the other members of the Band Council who helped to make the study possible. We would like to thank Ms. Louise Donovan for her help in translation.

We are also grateful to Ms. Janice Weisfeld for her help in drafting figures, correcting and typing of manuscripts and general aid above and beyond the call of duty. This study was supported financially by the National Sciences and Engineering Research Council, Environment Canada, the International Council for Adult Education and the International Development Research Centre.

Agencies contributing valuable resources include the University of Toronto, and McGill University.

### References

- CAMPBELL, M., 1980. Appropriate water and sanitation technologies for Indian communities in northern Ontario. — Royal Commission on the Northern Environment, Toronto, Ontario, 130 p.
- CONNELLY, R.G., 1972. Report on waste disposal at Post Island, Big Trout Lake. — Ontario-Report to the Department of the Environment, Environmental Protective Service, Western Region, Winnipeg, Manitoba, 20 p.
- HODGE, G., 1982. Analysis for northern development planning: a plea for appropriate technology. — *Naturaliste can.*, 109: 983-987.
- JACKSON, T., M.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI, A.V. WHYTE & A.P. ZIMMERMAN, 1978. Users making choices. — Technical Report of the Big Trout Lake Sewage System Environmental Assessment-International Council for Adult Education, Toronto, Ontario, 79 p.
- McGARRY, M.G., T. JACKSON, W. RYBCZYNSKI, A.V. WHYTE & A.P. ZIMMERMAN, 1980. Appropriate technologies for water supplies and sanitation in northern communities. — *N. Eng.*, 11: 4-10.
- ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, M.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE, 1982. Big Trout Lake Ontario II: cultural eutrophication and appropriate technological solutions in northern communities. — *Naturaliste can.*, 109: 1001-1010.



**BIG TROUT LAKE, ONTARIO. II: CULTURAL EUTROPHICATION  
AND APPROPRIATE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS  
IN NORTHERN COMMUNITIES**

A. P. ZIMMERMAN

*Department of Zoology, University of Toronto  
Toronto, Ontario M5S 1A1*

T. JACKSON

*International Council for Adult Education  
252 Bloor Street West, Toronto, Ontario M5S 1V5*

M. G. MCGARRY

*International Development Research Centre  
60 Queen Street, Ottawa, Ontario K1J 3H9*

W. RYBCZYNSKI

*School of Architecture, McGill University  
3620 University Street, Montréal, Québec H3A 2B2*

and

A. V. WHYTE

*Institute for Environmental Studies  
University of Toronto, 5441-A Young Street, Toronto, Ontario M5S 1A5*

**Résumé**

Le déversement des eaux usées de la communauté de Big Trout Lake (Ontario) a provoqué l'eutrophisation de la baie qui entoure la presqu'île où habitent la plupart des résidents. Une augmentation du phosphore de 60 à 160 mg P · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> a entraîné une réduction de la transparence de l'eau, la croissance d'algues et le départ des salmonidés de la baie. Le niveau inacceptable de bactéries coliformes dans le lac est encore plus sérieux, puisque ce lac est la source d'eau potable de plus de la moitié de la population. Les modèles conçus pour évaluer les changements anthropogéniques des lacs semblent inappropriés pour les écosystèmes de lacs subarctiques. Il faut donc être particulièrement critique quant aux propositions et aux évaluations de l'impact des systèmes de traitement d'eaux usées dans le Nord. Cet article traite de la limnologie de Big Trout Lake et des différences de concentration des substances nutritives du lac et de la baie. Il explore des options technologiques plus «douces» et plus appropriées que les systèmes antérieurs pour diminuer la teneur des émissaires en phosphore. Cet article traite également de la nécessité d'impliquer les usagers dans ces choix de technologies et discute de certains des facteurs qui empêchent les usagers de s'impliquer. Enfin, l'exemple présenté de participation communautaire au choix technique offre la possibilité de procéder autrement que dans le mode traditionnel, axé sur les problèmes de génie.

**Abstract**

Sewage inputs from the community of Big Trout Lake Ontario have led to cultural eutrophication of the bay surrounding the island on which the majority of the community's residents live. An estimated increase of phosphorus loading from 60 mg P · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> to 160 is associated with a reduction in water clarity, nuisance

algal growth, and departure of the salmonid fish community from the bay. Of a more serious nature is the prevalence of unacceptably high levels of faecal coliform bacteria in the lake which serves as the source of drinking water for over half the community. Models designed to estimate phosphorus loading to temperate lakes may be inappropriate for sub-arctic lake ecosystems and estimations of the changes in water quality expected with different technical options concomitantly imprecise. We feel proposals and impact assessments for sewage treatment systems in the north should therefore receive a particularly critical review. This paper discusses the general limnology of Big Trout Lake and documents lake-bay differences in nutrient concentration. It investigates "low" technology options for sewage treatment and phosphorus removal from the resultant effluent as an alternative to the previously proposed extended aeration package. This paper also discusses the importance of involving the users of the system in technology choice, as well as some of the factors which seem to mitigate against user involvement. We feel the study provides an example of a participatory research alternative to the more conventional engineering-oriented approach to technology selection and suggest that participatory models are an important step in the development of a new paradigm for native community decision making.

### Introduction

Big Trout Lake is a large, relatively deep, oligo- to mesotrophic lake (53°50' N, 89°50' W) located in the central Patricias region of northern Ontario (Fig. 1). The lake has a surface area of slightly more than 650 km<sup>2</sup>, a mean depth of 10.7 m and a maximum depth of 40 m (Ryder, 1961). The underlying geology of the area is Precambrian, but calcareous drift associated with the last glaciation is of major biogeochemical significance. The main body of the lake supports a salmonid fish community typical of cold, well-oxygenated lake ecosystems (Lewis *et al.*, 1964). Big Trout Lake is also the home of nearly 700 Nishnawbe-speaking native people and approximately 60 non-native people. The community is remote and accessible only by air. Most of the community's homes and commercial establishments are located on Post Island which is joined by a bridge-causeway to several small clusters of houses on the mainland (Fig. 1).

For a considerable period of time the native people of Big Trout Lake have been concerned about the deteriorating quality of the water surrounding Post Island. The Environmental Protection Service also recognized the problem and included Big Trout Lake in its late '60's "clean-up campaign" plans. The current imbroglio began in 1966 when the federal government failed to follow the recommendations of its consultants for construction of an appropriately sited, two-cell sewage lagoon system. A single cell lagoon, backing onto a creek that empties into the Post Island Bay was constructed instead. Foundation preparation of the site was inadequate and the lagoon has never functioned properly. In fact, in a

second report to the government (Connelly, 1972), the lagoon itself, along with the previously identified sewage disposal practices of the Department of the Environment, the Hudson's Bay Company (HBC), the aircraft facilities (BSA) and certain pit privies in the community were all implicated in the pollution problem.

In 1975, detailed specifications for a new sewage treatment system were completed. Unfortunately, neither water quality test results nor specifications for the new system were made available to the Band. Despite the fact that some native pit privies had been identified as contributors to the pollution problem and that piping for the new system would cross Band property, no native homes were to be served. Consequently, the beginnings of construction took the native people of Big Trout Lake by surprise. The community's experience with one malfunctioning sewage lagoon gave rise to grave doubts as to this new system's ability to prevent further contamination of the lake. Tension, fueled primarily by lack of information, built up as construction continued. Then in the fall of 1975, a Department of Public Works construction crew dynamited amongst unmarked graves on the Island. Empowered under the Indian Act of Canada to control access to the Reserve, the Band Council ordered the project stopped.

Following a long stalemate, terms of reference were drawn up by the Band in 1978 for an independent environmental assessment. Items of concern to the Band included: (a) documentation of the degree of contamination of the lake, (b) the cost effectiveness of the proposed system, (c) its impact on the community, as well as the

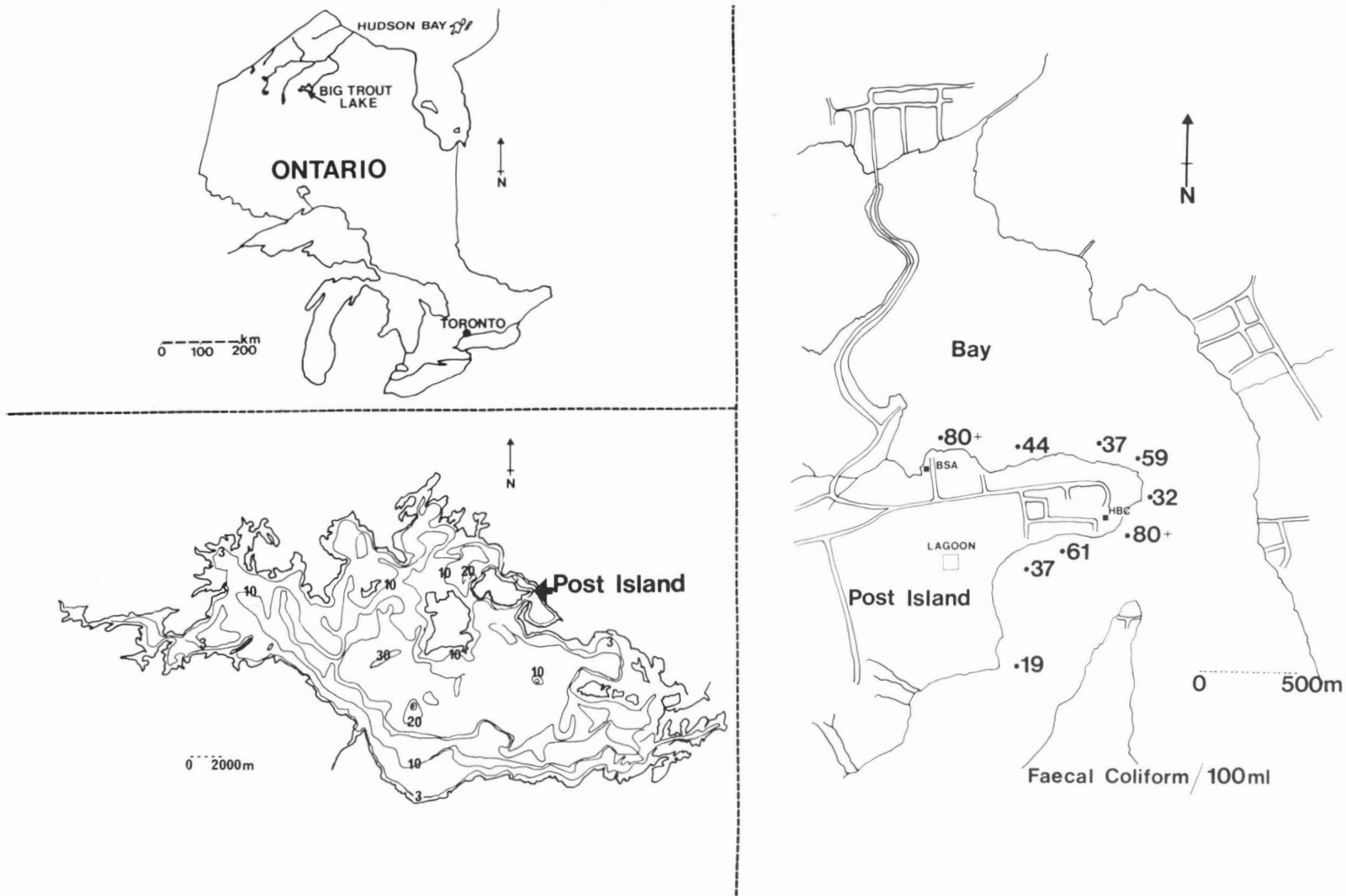


Figure 1. Location maps for Big Trout Lake, Ontario, and presentation of the faecal coliform levels in drinking water samples collected around Post Island.

lake, and (d) recommendations for alternative technologies for water supply and sanitation that would include native as well as non-native people.

The International Council for Adult Education was contracted by the Band Council to bring together a team of professionals with international development experience to carry out the assessment work. This paper reports primarily on the investigations of the trophic status of the waters of Big Trout Lake and discusses some of the issues facing consultants charged with implementation of various technology options for water supply and sewage treatment in northern communities, specifically those which include native peoples.

### Materials and methods

Epilimnetic composite water samples were collected with a 3 m tygon "tube sampler" at a total of 10 stations on 18 June, 1978 and again from 4 stations on 28 February, 1979. Nine stations were located in the bay, while a 10<sup>th</sup> "control" station was located in a smaller, un-inhabited bay on the south-west quadrant of Post Island (Fig. 1). This "control" bay does not have the same configuration as the bay at Post Island and it is not the optimum control. It is smaller, more open and hence more subject to exchange with the open lake. We recognize the shortcomings of the sampling site, but feel it is adequate for purposes of comparison with the Post Island Bay. To avoid confusion between the two bays we have chosen to refer to the smaller bay as the "open-lake" station.

Composite samples for faecal coliform concentration were collected at all stations. Additional samples for bacteriological analyses were collected in a plastic bucket to simulate community water collection practices. All samples were returned to the Ontario Ministry of Health Laboratories in Toronto the following day for analysis. Composite samples for chemical water quality were collected at alternate stations in the bay (for a total of 5 stations) as well as at the open-lake station. Sample preservation followed Ontario Ministry of the Environment specifications (OME, 1979), and samples were returned the following day to Toronto for analysis at the OME Laboratories in Rexdale. During the summer sampling, dissolved oxygen, temperature, conductivity and pH were made *in situ* using a System

8000 Hydrolab (Hydrolab Corp., Austin Texas). Water transparency was measured using a Secchi disk.

## Results and discussion

### COMPARATIVE PHYSICOCHEMISTRY

#### *Comparisons with other ecosystems*

In comparison to other subarctic lake ecosystems, the open water station of Big Trout Lake appears typical of a Precambrian Shield lake with no appreciable anthropogenic inputs. The influence of glacially associated calcareous drift on the water quality of the lake can be seen in Table I. Values for specific conductance at 25°C range from 96-106  $\mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Total dissolved solids average 70  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . While these values are comparable to other lakes in the Patricias (Ryder, 1961), they are almost twice as high as values reported for similarly sized lakes in Saskatchewan (Rawson, 1960). Similarly, Armstrong & Schindler (1971) both for the Experimental Lakes Area (ELA) and a series of other Shield lakes; Kerekes (1974) for Newfoundland Shield lakes; Duthie & Ostrofsky (1974) for Shield lakes in Labrador and Gallup & Hickman (1974) for Lake GERALD.

TABLE I

Comparison of the open lake station with ranges of nutrient concentrations taken summer and winter in Big Trout Lake

Elements ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	In-bay stations		Open lake station
	N = 5 Summer	N = 4 Winter	
Ca	15.4 - 16.6	26-46	17.2
Mg	2.3 - 2.6	4- 7	2.9
Na	0.5 - 0.6	1.2 - 1.8	0.6
K	0.25 - 0.30	0.8 - 1.2	0.35
Fe	0.15 - 0.19	0.01 - 0.03	0.05
Mn	0.017- 0.038	0.006- 0.01	0.17
P	0.012- 0.018	0.036- 0.140	0.007
NO <sub>3</sub> -N	< .005	0.019- 0.195	<.005
TKN-N	0.33 - 0.376	0.42 - 0.81	0.29
Si	0.30 - 0.85	—	0.8
SO <sub>4</sub>	0.30 - 2.5(?)	0.33 - 0.5	0.01
Cl	0.4 - 1.0	0.75 - 1.35	1
DIC	11-12	19.4 -36.2	12.8
POC	5.8 - 6.8	8.1 -14.7	5.6
Alk-CaCO <sub>3</sub>	49-53	46-83	55
pH	7.7 - 7.8	6.6 - 8.04	7.3
Cond. ( $\mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	96-102	150-260	106

dine in the NWT have all reported generally lower conductivities ( $12\text{--}72 \mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) than those found in the Patricias.

As expected, calcium concentrations in Big Trout Lake are higher than those reported for other Shield lakes, though still less than half those reported for other high latitude lakes located on limestone formations (Schindler *et al.*, 1974 a, b).  $\text{Ca}^{++}:\text{Mg}^{++}$  ratios in BTL are generally lower than in other Shield lakes, while  $\text{K}^{+}$  and  $\text{Na}^{+}$  values are similar if not lower than others reported.

Paralleling  $\text{Ca}^{++}$ , DIC and alkalinity levels in BTL are elevated in comparison to other Shield lakes. Other anions, Si,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  and Cl are generally lower or at the low end of the reported range. Anion and cation equivalence sum comparisons are within acceptable limits (APHS, 1971). Total phosphorus levels are similar to the lakes of the ELA, but are in general lower than those reported for other Shield lake systems. Of the lakes cited by Armstrong & Schindler (1971), the chemical composition ratios, though not the absolute levels in Big Trout Lake, most closely resemble those of Lake Nipigon and Lac Seul. This is perhaps expected since these are both larger lakes and in reasonably close proximity ( $46^{\circ}17' \text{ N}$ ,  $80^{\circ}00' \text{ W}$  and  $50^{\circ}10' \text{ N}$ ,  $94^{\circ}50' \text{ W}$  respectively) to Big Trout to have been somewhat influenced by calcareous drift.

#### Bay-lake comparisons

Nutrient conditions for the 5 in-bay stations were significantly higher than those at the open lake station in the main body of Big Trout Lake (Table I). Faecal coliform levels were found unacceptably high in all sampling points near the community (Fig. 1). Sufficiently high faecal coliform counts to make the water unfit for human consumption were found in both the integrated tube samples and the bucket samples. Major parameters, indicative of biological activity, from the summer sampling period have been averaged for the in-bay stations and are presented in Table II, along with data from the open lake station and other physicochemical data.

There are no historical data available from the Post Island Bay for time-trend comparisons. However, members of the Big Trout Lake community have stated that over the past 40 years, water clarity and water taste have both deteriorated. Submerged rocks that served as navigational markers are no

TABLE II

Comparison of the open lake station with averages of 5 in-bay stations for biologically active elements sampled 18 June 1978

	<i>In-bay avg. of all stations</i>	<i>Open water station 5</i>
Secchi depth (m)	2.50	6.00
pH	7.75	7.30
Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )		
surface	13.00	10.00
1 m off bottom	12.25	9.00
Oxygen ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		
surface	8.80	13.00
1 m off bottom	8.25	10.00
DIC ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	11.50	12.80
TOC ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	6.50	5.60
Total P ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.013	0.007
Kjeldahl nitrogen ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		
Ammonia ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.35	0.29
Ammonia ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0.012	0.004

longer visible. The diary of a community Elder detailing results of 34 years of comparative tea quality-tasting test data from three stations also supports allegations of changing water chemistry. Residents have complained that water in the bay no longer tastes "fresh", and that they now travel 3-5 km out into the main body of the lake to obtain drinking water. Other residents have stated that to catch certain salmonid fish species, once characteristic of the bay now requires a trip to the open lake. It is interesting that, though not in so many words, the Nishnawbe have keyed in on classic symptoms of cultural eutrophication: decreased water clarity (loss of navigational markers), nuisance algal growth or increased nutrient levels (changes in water taste) and the probability of hypolimnetic decreases in oxygen (movement of salmonid fishes out of the bay). While the loss of the salmonids may be the result of overfishing, the former observations support a recent change in the water quality in the bay rather than any naturally occurring higher concentrations associated with locally increased water residence time, littoral zone influences, etc.

While not as lyrical, observations made on 18 June seem sufficient to document bay-lake differences (Table II). The Secchi disk reading of 6 m in the open lake compares favorably with the average Secchi reading of 5.3 m reported by Lewis *et al.* (1964) and indicates considerably clearer water than in the bay where readings ranged between 2



and 3 m. Oxygen levels are lower in the bay and not at 100% of saturation, while the open lake station readings are saturated. Neither the control bay or the Post Island Bay were stratified at this time, but oxygen determinations lower in the water column are reduced.

The bay surrounding Post Island is quite shallow (mean depth, 2.4 m, Fig. 1). The large differences in oxygen concentration in and out of the bay combined with a slight clinograde oxygen curve in the absence of strong thermal stratification suggests that the bay may be polymictic and experienced recent turnover. The water was quite choppy on 18 June, and Ryder (1961) has reported only a "slight to moderate" tendency for thermal stratification in the lake as a whole. If the hypothesis of bay polymixis is true, hypolimnetic oxygen conditions could be considerably lower than those we measured, during periods of stratification. Lowered oxygen concentrations have implications for sedimentary phosphorus release which would have to be investigated prior to any attempts to model phosphorus dynamics in the bay. This kind of information is a necessary prerequisite for either estimation of the effects of changes in anthropogenic loadings (removal of septic tile fields, a new lagoon) determination of the necessity for phosphorus removal capability in any sewage treatment system, or for prediction of the rate at which conditions in the bay might be expected to improve after loading reductions.

Summer total phosphorus levels in Big Trout Lake are approximately twice as high in the bay as in the control bay of the lake. Other indicators of biomass, primary productivity or anthropogenic inputs are also elevated in the bay. Total organic carbon (TOC) and organic nitrogen (TKN), both indicators of biomass are likewise higher. Inorganic carbon (DIC) is lower in the bay, while pH is higher, both changes which reflect increases in rates of primary production. Ammonia levels are elevated in the bay, consistent with increased levels of decomposition, and commensurate with lower bay oxygen levels.

Iron, manganese and aluminum values are all higher as well. These latter elements tend to form solid phase hydroxides (Stumm & Morgan, 1970), which would stay in suspension longer in the regime of greater turbulence that seems to be characteristic of the bay. Decreases in these three elements

during the winter (Table I), when ice-cover greatly reduces turbulent mixing, is consistent with this hypothesis: particularly when all other elements increase in concentration in winter.

Elevations in all nutrient concentrations in the winter, with the exceptions of iron, aluminum and manganese, are probably due to a combination of decomposition, reduced productivity and some freezing out, the latter due to the extreme thickness of the ice (> 1 m) relative to water depth. Similar elevations in winter chemical concentrations were reported by Schindler *et al.* (1974a, b) for Char Lake.

#### PHOSPHORUS LOADING ESTIMATES

Calculated estimates of the natural phosphorus loadings into Big Trout Lake (Dillon & Rigler, 1974b) predict a lake phosphorus concentration of  $6 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , which agrees reasonably well with the measured P concentrations of  $7 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  in the control bay. The loading attendant with a phosphorus concentration of  $6 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  is approximately  $60 (59) \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ . This value falls in the range of the  $50\text{-}100 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  reported by Schindler *et al.*, (1974b) as estimates for non-anthropogenic loadings in Meretta Lake, a high arctic system. When applied to a topographically defined bay catchment area, this natural loading value falls only about 4 mg short of the "provisional", permissible loading suggested by Vollenweider (1968) for a water body of mean depth of 5 m. The Post Island Bay is shallower, with a mean depth of 2.4 m. Hence these high loading figures suggest that the bay itself may have been balanced between natural meso- or eutrophy before any anthropogenic loading occurred.

Using estimates of anthropogenic areal loadings from Vollenweider (1968) and again, restricting calculations to the bay and that area of the watershed topographically defined as contributing to bay water quality characteristics, yields a loading of approximately  $4 (3.9) \text{ kg P}\cdot\text{a}^{-1}$  or about  $160 (159) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ . This value is less than the  $190 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  from Meretta Lake, which receives sewage loadings from a Department of Transport Air Base, but is still almost 25% higher than Vollenweider's "dangerous" loading levels for phosphorus, considering bay morphometry. That these estimates may be close to actual loading values is suggested by calculation of a mean bay phosphorus concentration of  $16 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  (using the above loadings restricted to the topo-

graphically defined bay catchment area, a mean depth of 2.4 m and a flushing rate of  $0.60 \cdot a^{-1}$  (Jackson *et al.*, 1978). The actual bay mean phosphorus concentration was  $15 \mu g \cdot l^{-1}$ .

#### INTERIM CONCLUSIONS

The Dillon-Rigler model (1974) was developed for small, central-Ontario lakes with negligent ground-water inputs. Certainly some, if not all, the assumptions of the model are violated in the extrapolation to arctic systems. Indeed, there is preliminary evidence that the model itself, in its present form, is inappropriate for sub-arctic lakes.

Use of Vollenweider's (1968) estimates for anthropogenic inputs may be in error since sewage in the North seems to contain a higher phosphate content than would be expected at temperate latitudes (The Meretta Lake study reported N:P ratios of 1.63. The N:P ratio in Big Trout is 1.23). Use of the Vollenweider permissible loading standards may be incorrect since standing crops of phytoplankton were lower in Meretta Lake than would have been expected at a lower latitude, given the same level of phosphorus loading. However, Schindler *et al.* (1974b) still concluded that phosphorus control was the key to eutrophication in the Arctic.

The oral history of the Big Trout Lake Bay area suggests a decline of water quality commensurate with cultural eutrophication. The loadings calculated here do not seem out of line with those calculated for Meretta Lake, a system with a better defined phosphorus budget. Use of the combined natural and anthropogenic loadings for prediction of phosphorus concentration in the bay agree reasonably well with measured concentrations, as do the natural loadings and the measured concentration for the open lake. In the absence of other data, it seems reasonable that control of phosphorus is the key to the control of cultural eutrophication in sub-arctic as well as arctic lake systems. The major conclusion then is not the validity of the absolute levels of loading, but rather that there is currently no firm, empirical basis for the assumption that the originally proposed extended aeration treatment system would significantly improve water quality in the bay surrounding Post Island.

While these data are being collected (F.H. Rigler, pers. comm.), the current state of the art demands a critical review of proposals for sewage treatment systems in the

North, particularly proposals for systems as expensive and sophisticated as packaged extended aeration. The original, central issue at Big Trout Lake was restoration of the quality of the drinking water supply of 50% of the Trout Lake community and amelioration of water quality conditions symptomatic of excess phosphorus loading. Yet, no provision was made for phosphorus removal from the extended aeration package plant effluent.

Perception, more than any single issue, seems to be at the centre of this particular conflict, and the perception by the native peoples of Big Trout Lake was of a government whose handling of a sensitive situation was careless and arrogant. A *post hoc* analysis of the situation suggests that a combination of factors ranging from high personnel turnover rates, unfamiliarity with the area, and inadequate proposal review procedures contributed to the technology selection process in the Big Trout Lake community. Communication with the users would have facilitated continuity and reduced aspects of unfamiliarity and fear within the native community. Consideration for the expertise of the users would have provided a second filter for proposal review. Open exchange of information would have altered the perception of paternalism in a community sensitive about and committed to native self-determination. It is unfortunate that this did not happen.

We felt an adequate impact assessment for the extended aeration sewage treatment system originally intended for the community would have to include a much more extensive limnological investigation. In this particular case, there were real doubts that the necessary data could be collected in a reasonable period of time. Consultation with the Big Trout Lake Band, consideration of their plans to limit future community development to the mainland and recognition of their *perception* of any sewage treatment system based on an island lagoon rendered the previous proposal virtually untenable. We therefore began to search for sewage treatment technology options that delivered low phosphorus content effluents, that were not restricted to the island and did not exceed the financial capabilities of the community's private sector.

#### Technological investigations

The options for solutions to the problems of water supply and sewage treatment that

we presented to the Big Trout Lake Band Council took the form of a supply/removal matrix (Fig. 2 in Zimmerman *et al.*, 1982). The most complex, cost intensive option was the delivery of water to homes by truck (except for those homes with extant piped water), and the removal of sewage from all users with a different truck. We felt that the sewage truck could immediately pump out the sewage from the existing, malfunctioning septic systems and would be flexible as the needs of the community expanded, i.e. the new school, community centre, construction of holding tanks in native homes, the new day care centre, etc. In order of descending technological complexity were options for self-contained sewage disposal systems and improved outhouses, some with liners allowing pumpout for those located over shallow water tables or with anticipated heavy loadings, i.e. the new laundry facility.

Water supply options ranged from the water delivery truck through more hand-pumps (combined with a native program for well development and handpump maintenance). We felt these systems met the needs of the community for flexibility, job generation and simplicity of maintenance and operation consistent with appropriate technology (Campbell, 1980). Pump and truck maintenance skills can and are being developed in the community. Adequate technological expertise to deal with a balky or broken extended aeration plant seem far down the road.

Approval for the establishment of a secondary school in Big Trout Lake and the decision to site the school (a primary potential user of a new sewage system) on the mainland predisposed the Band to want to site the new sewage lagoon on the mainland. We felt that locating the lagoon so that use could be made of a naturally occurring wetland for tertiary treatment (Small, 1978) would produce an effluent at considerably lower operating cost than an advanced water treatment addition for the extended aeration package and with a much lower probability for system failure. The north shore of Big Trout Lake is near the divide of the catchment basin for the lake. Situation of the lagoon drainage on the north-side of that divide removes the effluent input from the Big Trout Lake watershed onto the watershed of the smaller Fawn Lake. The Fawn system empties directly into the Fawn River above its origin at the outlet of Big Trout Lake and flows with no further

impoundment to Hudson Bay via the Fawn and Severn Rivers. This smaller system is much more amenable to construction of the mass-balance phosphorus model necessary for proper monitoring of system operation, is not a source of drinking water for the community and most importantly reflects the choice of the community itself. This location also removes the lagoon from close contact with the community and reduces the chances of problems with flies, mosquitoes or odour.

In October, 1979, the Band Council of Big Trout Lake passed a resolution and presented it to the federal government, (Zimmerman *et al.*, 1982). In it they detailed their decision for water supply and waste treatment in the community. They also requested allocation of funds for design and adequate costing as well as funds for hand-pump improvement and latrine upgrading.

This selection by the Big Trout Lake community of a technical solution to the problem of water supply and sanitation is in sharp contrast to the imposition of a technological solution on the community from outside. In both cases the goal was the same, investment was to be made for improvement of the community. It was the approach that differed. In the former case, we made conscious attempts to keep the users fully informed. As wide a spectrum of technological choices as possible was presented to them with detailed information, simplified and translated where necessary, to enable the users to make the ultimate choice. Hodge's (1982) observation that methodology in the north must be tailored to the needs of a particular community is worth examining in light of some of the inherent factors which tend to mitigate against including the user in the decision making process (McGarry *et al.*, 1980).

One major factor is the belief that a lack of technological expertise in native communities is analogous to an inability to make informed decisions. Once this perception is in place, paternalism appears inevitable. What we have attempted to accomplish through presentation of a participatory model is a demonstration that technological naïveté is not the same thing as ignorance. Our experience is that when a reasonable effort is made to provide understandable information, communities can make informed decisions (Zimmerman *et al.*, 1982). Native communities, along with a majority of the world, do lack technological finesse. Therefore, merely delivering a copy of con-

sulting engineers' report on technological options does not constitute a reasonable attempt at providing understandable information. At the present time, an effort must be made to explain the contents of the report and provide translated summaries.

A second component working against user involvement is the requirement for competitive bids for technology selection contracts and/or the combination of the investigation and implementation phases of technology selection in one contract. The nature of contract competition means that time spent in the community will be reduced to a minimum in an attempt to lower costs. Similarly, the tendency will be for the engineering design to be carried out in offices remote from the recipient community and presented later as a virtual *fait accompli*. Opportunity for community input as the design takes place is thereby lost, and the only mechanism of input remaining is wholesale acceptance or rejection. Such a scenario is not the fault of the consulting firm. However, it does suggest that the terms of reference for technology selection in northern communities could use some revision. And if that revision is to culminate in more workable terms of reference, input from users as well as engineers and government representatives will be required.

Another serious problem we encountered was the frequency with which our respective counterparts within the government agencies with which we had to deal changed positions. Rarely was the individual responsible for a decision in the same position when it came time to implement the solution. This situation tends to foster a lack of responsibility and accountability in government or else its converse, the necessity for individuals to defend a decision they were not responsible for making. Inclusion of the users would provide the continuity inherently lacking under the present system and again emphasizes that the model of decision making as currently practiced is inadequate.

All these factors are bound up with the wider matrix of conditions surrounding the native peoples' dependency on federal and provincial government support. This situation can only be expected to change very slowly. However it must change or opportunities for native communities to develop self confidence and to gain problem solving experience will continue to be lost, thus reinforcing an attitude of continuing

TABLE III  
Being Indian is

1.	to work
2.	to eat moose meat
3.	to like the bush
4.	to be quiet
5.	to be shy
6.	to like a job
7.	to make things
8.	to fish
9.	to hunt
10.	not to have running water

dependence. We feel this study, initiated by the Band Council of Big Trout Lake, provides one example of a participatory research alternative to conventional models of technology selection. We feel the participatory model is less likely to result in implementation of inappropriate technological solutions, better suits Hodge's plea for site-specific appropriate methodology (1982) and acknowledges the sensitivity of native people to "technical apartheid". A poster on the wall of the grade 3 classroom at Big Trout Lake seems particularly apt. It is entitled "Being Indian" (Table III).

It is our hope that the two papers presented here will help catalyze the search for a new and more sensitive paradigm for technology selection decisions in northern communities.

### Acknowledgments

The authors would like to thank all the residents of Big Trout Lake, Ontario for their courtesy and helpfulness. Particular thanks are due to Bill Morris, Simon Sainnawap, Jim Morris, and Grace Hudson who acted as interpreters; Joseph Morris, Grace Hudson, and Eliazore Anderson and their families for their hospitality; John Cutfeet and Bill Sainnawap who translated our progress reports over the radio into Cree and finally Chief Stanley Sainnawap, Gerry McKay and the other members of the Band Council who helped to make the study possible. We would like to thank Ms. Louise Donovan for her help in translation of the abstract.

We are also grateful to Ms. Janice Weisfeld for her help in drafting figures, correcting and typing of manuscripts and general aid above and beyond the call of duty. This study was supported financially by the National Sciences and Engineering Research Council, Environment Canada, the International Council for Adult Education and the International Development

Research Centre. Agencies contributing valuable resources include the University of Toronto, and McGill University.

### References

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1971. Standards methods for the examination of water and waste-water. — APAS Washington, D.C., 874 p.
- ARMSTRONG, F.A.J. & D.W. SCHINDLER, 1971. Preliminary chemical characterization of waters in the Experimental Lakes Area, Northwestern, Ontario. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 28: 171-187.
- CAMPBELL, M., 1980. Appropriate water and sanitation technologies for Indian communities in northern Ontario. — Royal Commission on the Northern Environment, Toronto, Ontario, 130 p.
- CONNELLY, R.G., 1972. Report on waste disposal at Post Island, Big Trout Lake. — Ontario-Rep. to the Dept. of the Environment, Environmental Protective Service, Western Region, Winnipeg, Manitoba, 20 p.
- DILLON, P.J. & F.H. RIGLER, 1974a. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 1771-1778.
- DILLON, P.J. & F.H. RIGLER, 1974b. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. — *Limnol. Oceanogr.*, 19: 767-773.
- DUTHIE, H.C. & M.L. OSTROFSKY, 1974. Plankton, chemistry, and physics of lakes in the Churchill Falls region of Labrador. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 1105-1117.
- GALLUP, D.N. & M. HICKMAN, 1974. The limnology of Lake Geraldine, Frobisher Bay, N.W.T. — *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 19: 1746-1754.
- HODGE, G., 1982. Analysis for northern development planning: a plea for appropriate technology. — *Naturaliste can.*, 109: 983-987.
- JACKSON, T., M. McGARRY, W. RYBCZYNSKI, A.V. WHYTE & A.P. ZIMMERMAN, 1978. Users making choices: first technical report of the Big Trout Lake sewage environmental assessment participatory research project, International Council for Adult Education. — Toronto, 79 p.
- KEREKES, J.J., 1974. Limnological conditions in five small oligotrophic lakes in Terra Nova National Park, Newfoundland. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 555-583.
- LEWIS, C.A., C.H. OLIVER, W.A. WEST & F.J. ATKINSON, 1964. Progress report no. 2 of the Fisheries Inventory Work in the Partricias 1961-1963. — Ontario Ministry of Natural Resources, Toronto, 40 p.
- McGARRY, M.G., T. JACKSON, W. RYBCZYNSKI, A.V. WHYTE & A.P. ZIMMERMAN, 1980. Appropriate technologies for water supplies and sanitation in northern communities. — *N. Eng.*, 11: 4-10.
- ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, 1979. A guide to the collection and submission of samples for laboratory analysis. — Laboratory Services Branch, Toronto, Ontario, 46 p.
- RAWSON, D.S., 1960. A limnological comparison of twelve large lakes in northern Saskatchewan. — *Limnol. Oceanogr.*, 5: 195-211.
- RYDER, R.A., 1961. Standard methods to be employed for lake surveys on the Patricia Inventory (Mimeo). — Ontario Ministry of Natural Resources, 21 p.
- SCHINDLER, D.W., H.E. WELCH, J. KALFF, G.J. BRUNSKILL & N. KRITSCH, 1974a. Physical and chemical limnology of Char Lake, Cornwallis Island. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 585-607.
- SCHINDLER, D.W., J. KALFF, H.E. WELCH, G.J. BRUNSKILL, H. KLING & N. KRITSCH, 1974b. Eutrophication in the High Arctic, Meretta Lake, Cornwallis Island. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 647-662.
- SMALL, M.M., 1978. Wetland water treatment systems. — Pages 323-332 in *Int. Symp. on the State of the Art in Land Treatment of Wastewater*, Hanover, N.H., 476 p.
- STUMM, W. & J.J. MORGAN, 1970. *Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters.* — Wiley-Interscience, New York, 583 p.
- VOLLENWEIDER, R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. — Rep. Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, 192 p.
- ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, M.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE, 1982. Big Trout Lake I: an example of community decision making. — *Naturaliste can.*, 109: 989-999.

## ENERGY SUBSIDIES AND NATIVE DOMESTIC (SUBSISTENCE) FISHERIES

F. BERKES

*Institute of Urban and Environmental Studies  
Brock University, St. Catharines  
Ontario L2S 3A1*

### Résumé

Les pêcheurs et chasseurs autochtones procèdent à partir d'établissements permanents et font appel au transport mécanisé pour récolter des ressources clairsemées dans de grandes étendues de territoire. En se basant sur des données recueillies dans la région de Fort-George (Chisasibi, baie James, Québec) entre 1975 et 1980, on a pu évaluer la relation existant entre les récoltes de subsistance et la consommation de carburant. L'énergie requise pour la récolte de 1 kcal de protéine varie de 14 à 21.8 kcal chez les six groupes familiaux étudiés. Le rapport carburant/récolte est plus favorable pour les pêcheurs installés dans des camps sur les sites de pêche que pour ceux qui font des excursions d'une journée à partir de leur village.

La chasse et la pêche comportent sans doute aussi des avantages plus difficiles à quantifier, au plan social et culturel. La consommation de carburant est néanmoins élevée, même en référence aux seuls standards de la pêche commerciale. Une plus grande dépendance à l'égard des ressources énergétiques semble vouloir se traduire par plus de vulnérabilité face aux augmentations de coût. Une étude comparative similaire mais à plus grande échelle pourrait fournir des indices valables sur "l'état de santé" des systèmes de subsistance du Nord.

### Abstract

Contemporary northern native fishermen and hunters operate out of permanent settlements, relying on mechanized transportation to harvest resources which are thinly distributed over large areas. Based on field data and interview information collected between 1975 and 1980 in the Fort George (Chisasibi) area (James Bay, Québec), patterns of subsistence (domestic) harvest in relation to fossil fuel use have been evaluated. Kilocalories of energy input required to harvest 1 kcal of fish protein varied from 14 to 21.8 in the six family groups studied. The most favourable energy input/output ratios were obtained in cases where fishermen established field camps, rather than relying on day-trips from the settlement.

Fish and game are not the only outputs of subsistence activities, and these other benefits cannot be quantified with the same currency as fish protein; nevertheless, the fossil fuel inputs in Fort George are large, even by commercial fishery standards. These results suggest that heavy dependence on energy subsidies makes northern bush economies vulnerable to the increasing costs of energy, and that comparative values of energy inputs and outputs from across the North may serve as an index of the "health" of subsistence systems.

### Introduction

Until the 1950's and the 1960's, northern native hunters and fishermen spent most of the year in small, mobile hunting groups, moving with the seasons over vast expanses of traditional hunting areas. This arrangement was ecologically well adapted to har-

vesting northern ecosystems. First, hunting as opposed to agriculture can only support a small population. Second, the biological productivity of most of the North is relatively low. For example, Pimentel & Pimentel (1979, p. 23) estimate that in the temperate region, about 40 ha of favourable habitat per person are required for an adequate food

supply by hunting-gathering. Under more marginal conditions, such as northwestern Canada, Clark & Haswell (1970) estimate that a hunter-gatherer requires the produce of about 14,000 ha of land.

Since the 1950's and the 1960's, northern native peoples have been encouraged by government policy to settle in permanent communities to which services could be brought. With a settlement-based lifestyle, northern hunters had to find alternate ways of harvesting or else become totally dependent on store-bought food. By the 1960's many native hunters were using rapid transportation technology in harvesting, seen by some as an adaptation to settlement living (Berger, 1977; Berkes & Farkas, 1978).

Over a span of three decades, the relative importance of human energy and, for many groups, energy spent by dogs used in transportation as an input into food production have declined, but fossil fuel subsidies have increased greatly. There have been some studies of this phenomenon. Kemp (1971), for example, contrasted the energy use of two Baffin Island Inuit (Eskimo) groups, one of which was relatively traditional and the other which used advanced transportation technology. More systematic investigations and comparable data have been largely lacking. The purpose of the present study is to quantify the level of fossil fuel energy inputs per unit food output in the domestic (subsistence) fisheries of Cree Indians of Fort George, and to investigate some of the consequences and implications of using modern transportation technology.

### Methods of study

The study is based on field data and interview information collected between 1975 and 1980 in Fort George, a predominantly Cree Indian community (total population about 2000 in 1980) located on the estuary of the La Grande River in northern Québec. Biological fisheries data (numbers and weight by species, maturity, some scale samples for ageing) were collected, together with information on length of trip, fishing locations by season, and incidental catch of other game per trip (Berkes, 1977).

The relationship between fuel consumption and distance travelled is based on a series of what is considered typical motor canoe trips, not including those trips in which the weather was unusual, or those in

which side trips were taken for hunting ducks or seals. The size of canoes (up to 7.3 m) and the size of the outboard motor (20 to 40 HP) vary. However, the gas consumption per distance travelled is approximately the same for the larger and the smaller engines; the larger motors are faster. The relationship, however, is also a function of wind and tide conditions and the amount of load.

A combination of field data and interview information was used to obtain the fish harvest and fuel consumption of family fishing groups. For group A, 69% of the catches were actually monitored in the field and the rest estimated. Harvests of groups B, C and D were estimated from interviews, backed up by spot checks of catches in the field. Harvests of groups E and F were estimated from interview information only. In these estimates, the catch per unit of effort (CPUE) data, previously monitored (Berkes, 1979, Fig. 2) and refined by more recent field data were used to account for differences in fishing success in different seasons and different locations.

The reference year, 1978-1979, was chosen because of the availability of some information on the community-wide gas consumption. Data from other years indicate that harvests and fuel consumption by individual groups in 1978-1979 were consistent with those in other years.

Community-wide harvests were taken from the detailed questionnaire/diary study (NHR, 1980) which was administered jointly by government and native peoples' agencies under the *James Bay Agreement*. The fuel energy input into the community-wide harvest in 1978-1979 was estimated from the records of the gas subsidy program carried out in 1979 (to compensate for the impact of the La Grande River closure to fill the LG-2 dam). Some 14,000 litres were used over the 42-day support program by 92 fishermen over 18 years of age who normally fished in the river and who used the gas to travel to alternate fishing locations (data from Fort George Band Council). Since there were a total of 387 potential hunters-fishermen (NHR, 1980, p. 33), reporting an average of 82 days of fishing activities (NHR, 1980, p. 233), a correction factor of 8.2 was applied to the recorded gas use to obtain an estimate of the total fuel spent in fishing. On the basis of 265 days reported for all hunting, fishing and trapping activities, a correction factor of 26.5 may be similarly calculated

for estimating the total fuel spent in all harvesting activities. These calculations assume that the participants in the gas subsidy program used the gas for harvesting, and that their hunting-fishing activities over that period is a good sample of the total community harvesting.

Following the method of Pimentel & Pimentel (1979), fish harvests are calculated on the basis of kilocalories of protein. This assumes that protein is the main output of harvesting, and is supported by the fact that fish and wildlife provide more than the per capita minimum adequate protein requirements, but only up to one-third of calorie requirements (Berkes & Farkas, 1978). It is acknowledged that social aspects of subsistence harvesting may be as important or even more important than the protein output, but these benefits are not quantified in the present paper.

### Results

Figure 1 shows the relationship between fuel spent in motor canoe travel and the length of the one way trip. Snowmobiles are used almost as extensively as canoes (about six months each) and the gas consumption of snowmobiles is about half as much as canoes. However, snowmobiles carry one, at most two persons, plus a sled, whereas canoes carry a minimum of two and

up to six or eight people. A straight line relationship also exists between distance and time, although it is more variable than distance and fuel relationship. A trip of 40-50 km usually takes two to three hours by canoe and two hours by snowmobile. On ice or firm snow (for example, on communally maintained winter roads along the coast), snowmobile travel is usually faster than canoe; on soft snow or spring ice, however, it can be very slow. During spring break-up, sometimes a light canoe is carried on the sled pulled by the snowmobile, for a combination of these two modes of transport.

Table I shows the harvest of fish protein per year and the energy input-output ratios of six family groups and the community as a whole. The range in the input-output ratio is considerable, from one group which required 21.8 kcal of fossil energy input to harvest 1 kcal of fish protein, to another group which required 14.0 kcal input to harvest 1 kcal of fish protein. The community-wide value, 16.4 kcal, falls in between. The two groups showing the highest energy efficiency also reported the largest yearly catches, whereas the least efficient group had one of the lowest catches. However, this relationship is not always straightforward.

While all groups used a mix of different harvesting strategies, the relatively high efficiency of groups C and E may be attributable to their preference for the practice of

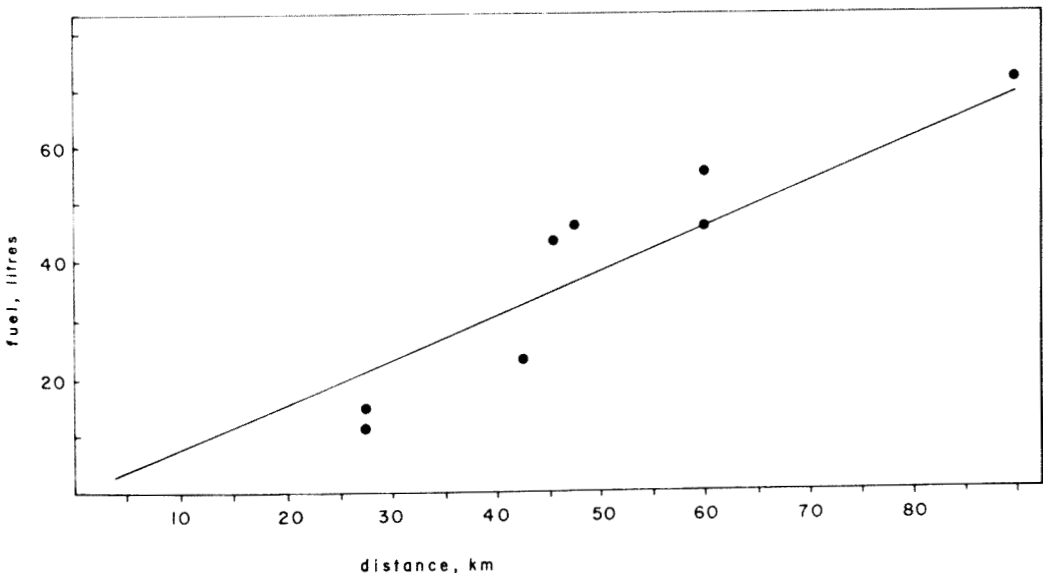


Figure 1. The relationship between travel distance and fuel used by a standard 7 m motor canoe with 20 to 40 HP outboard motor.



TABLE I  
Harvests of fish protein in Fort George, 1978-1979, and energy input/output ratios  
(All data, except ratios, in per year units)

	<i>Edible weight (kg)</i> <sup>1</sup>	<i>Protein weight (kg)</i> <sup>2</sup>	<i>Protein (kcal)</i> <sup>3</sup> × 10 <sup>6</sup>	<i>Fuel energy input (kcal)</i> <sup>4</sup> × 10 <sup>6</sup>	<i>Total energy input (kcal)</i> <sup>5</sup> × 10 <sup>6</sup>	<i>Kcal energy input per kcal fish protein harvested</i>
Community-wide harvests	55,214	11,043	44.17	604.54	725.45	16.4
Family group A	491	98.2	0.39	4.98	5.98	15.3
Family group B	140	28.0	0.11	1.34	1.61	14.6
Family group C	1,254	250.7	1.00	11.86	14.23	14.2
Family group D	452	90.3	0.36	5.06	6.07	16.8
Family group E	837	167.4	0.67	7.85	9.42	14.0
Family group F	195	39.0	0.16	2.90	3.48	21.8

<sup>1</sup> Community harvest from NHR (1980, p. 237); edible weight = 0.70 whole weight.

<sup>2</sup> Protein content coefficient is 0.20. Commonly used values range from 0.17 to 0.25 which is the value for whitefish (Watt & Merrill, 1963).

<sup>3</sup> The conversion assumption is 1 kg protein = 4,000 kcal (D. Pimentel, pers. comm., 20/2/1981).

<sup>4</sup> Gasoline is assumed to contain 8,180 kcal energy per litre (Pimentel & Pimentel, 1979, p. 13) or 37.186 kcal per imp. gallon. Outboard motors and snowmobiles usually burn a 40:1 gas-oil mixture.

<sup>5</sup> The total energy input is roughly estimated as 1.2 times the operation inputs, based on the data given for the smallest fishing vessel sizes in Rochereau & Pimentel (1978).

establishing semi-permanent bush camps and the use of a paddle canoe to tend the nets. Group members travelled to the community generally once a week. By contrast, low efficiency of group F may be explained by the relatively greater tendency of the family head to fish (and hunt) on a day-trip basis. However, group B, a weekend hunter-fisherman and his family, also obtained relatively high efficiency by harvesting on a day-trip basis but selecting sites closer to the community.

The data in Table I indicate only the aggregate of energy inputs and the protein obtained during the annual cycle for each of the six groups studied. Greater harvests are not necessarily due to longer trips but, more often, due to the greater number of trips undertaken. To analyse the energy efficiency of different fishing strategies, it is necessary to consider the inputs and outputs of individual trips, as done in Table II.

Table II shows some relative values for hunting efficiencies achieved in camping trips and day-trips. Highest efficiencies appear to be associated with intermediate and shorter trips during which fishermen spent a week or so in a bush camp and tended nets by paddle canoe. However, there is considerable variation in input-output ratios. The 30 km trip (four records in Table II) repre-

sents the area of First Rapids on the La Grande River. This is a particularly productive site for late summer fishing because of massing of pre-spawning aggregations of coregonids, and the only site to which day-trips of greater than 15 km are normally undertaken. The site was not used in 1979 and 1980 and possibly will no longer be usable due to blasting for the diversion channel of LG-1 dam.

The last row of figures is a composite one, representing over 100 day-trips recorded between 1975 and 1980. The length of the trip normally varied between 2 to 10 km, and the fish harvest per trip varied seasonally from a low of about 4 kg in summer to a high of 10 kg in fall (Berkes, 1979). Due to heavy use of the area, other game animals were scarce, and the incidental catch was negligible. For these day-trips, the extreme range of the input/output ratio would be about 2 to 50, but the usual range 5 to 20, peaking in October.

Other kinds of modern transportation technology are also utilized by Cree hunters-fishermen. Trucks have become widely used since 1976-1977; in fall 1980 there were more people hunting by truck than by canoe, although precise information would be almost impossible to produce. In four hunting-fishing trips by truck recorded in 1979 and

TABLE II  
Protein harvests and energy input/output ratios, 1975-1980,  
in camping trips and day-trips, fishing and incidental harvests of other game<sup>1</sup>  
(Calculations follow those in Table I)

Length of trip one way (km)	Duration of trip (days)	Fish harvest (kg whole wt.)	Total harvest <sup>2</sup> (kg whole wt.)	Kcal energy input per Kcal protein harvested	
				Fish	Total harvest
120	6	310	360	8.2	7.0
90	3	27	63	34.4	12.3
45	3	160	180	9.3	8.3
45	3	197	220	7.6	6.8
15	6	135	135	8.3	8.3
15	7	212	212	5.3	5.3
12	7	34	57	9.2	4.9
30	1	39	39	13.0	13.0
30	1	53	53	9.4	9.4
30	1	90	90	5.6	5.6
30	1	54	54	9.4	9.4
2 to 10 <sup>3</sup>	1	4 to 10	4 to 10	5 to 20	5 to 20

<sup>1</sup> Ducks, ptarmigan, snowshoe hare weights are converted to kcal using the edible weight values in NHR (1980) and then calculating as in Table I. Ringed seal weights were individually measured.

<sup>2</sup> Includes some estimates; it was not always possible to record all incidental harvest.

<sup>3</sup> Represents over 100 day-trips in Fort George area, averaged by seasons.

1980, the input/output ratios, assuming a consumption rate of 18 litres/100 km and using fuel as the only input, were 10.2, 11.1, 19.7 and 133.0, showing that returns comparable to canoe trips could be obtained if systematic hunting and fishing were done, but that trips mainly for pleasure could give very low returns.

While there was a general tendency over the study period to use increasingly more energy-intensive and more costly transportation technology, there were also cases of aboriginal-style harvesting. For example, a two-day trip by paddle canoe from Fort George produced a harvest of 30,000 kcal of fish and small game. However, on the return trip (against the flow of the La Grande) a tow was necessary, resulting in an overall input/output ratio of 1.2. Such cases of frugal use of fossil fuels may be more characteristic of smaller communities such as Eastmain (Berkes, field notes), in which the area surrounding the community is not over-harvested and good returns can be obtained with relatively little fuel expenditure.

### Discussion

In perspective, Fort George Cree subsistence fisheries are comparable to some commercial fisheries with respect to energy efficiency. Table III summarizes comparable data from around the world, but it should be noted that the input/output ratios for different species, as well as for different regional fisheries, vary a great deal (Rawitscher & Mayer, 1977). Strictly on energy basis, Cree fisheries do not break even, or even come close. They are less efficient than modern commercial inshore fisheries, but appear to be more efficient than some offshore fisheries. It should be noted, however, that in a subsistence fishery, the intention of each

outing is not necessarily to obtain a maximum harvest of fish, as one would expect in a commercial fishery. Therefore, a more meaningful comparison for the Cree fisheries would be with other subsistence fisheries, except there are no other values in the literature.

Cree fisheries are no doubt under the same kinds of pressures as fisheries elsewhere to adopt energy-intensive methods. One can only conclude that fishermen in native societies are susceptible to the seduction of the same time-saving and comfort-promoting technologies as fishermen of industrial societies. It follows, therefore, that under the prevailing socio-economic conditions, it would be as meaningless to ask native fishermen-hunters to go back to aboriginal techniques, as it would be to ask, for example, Scottish or Newfoundland commercial fishermen to stay in inshore fisheries and to use wooden vessels only.

An important point of qualification is that the reductionist analysis in this paper under-represents the returns from fishing activities. First, fish is not the only output; social, cultural and (for the young) educational benefits of subsistence fisheries cannot be quantified with the same currency as fish protein. Second, this study only quantifies protein; other nutritional factors are not analysed. Although fish are low in fat, the calorie values of fat from other species, such as beaver and Canada geese, are quite high (Berkes & Farkas, 1978). Third, the incidental catch of other game, when the harvesting focus is on fish, can be considerable, as shown in Table II, and provide an important supplement to fish protein.

When the harvesting focus is on other species, the returns can be higher than in fishing. This paper presents no data on bea-

TABLE III

Kilocalories of fossil energy input required to harvest 1 kcal of fish protein  
[Comparative data from Pimentel & Pimentel (1979, p. 103-105) and Rochereau & Pimentel (1978)]

	<i>Input/output ratio</i>
Entire US fishing industry	27 : 1
Entire UK fishing industry	20 : 1
Steel trawlers, Scotland	21 : 1
Wooden vessels, Scotland	2.1 : 1
US northeast fishery, offshore	9.6 : 1
US northeast fishery, inshore	2.2 : 1
Fort George Cree subsistence fisheries	16 : 1

ver trapping or big game and waterfowl hunting, but it is known that these activities can produce higher returns (in harvest weight per man-day units) than fishing (Berkes, 1979). For example, for the two months that geese are available, returns per man-day are twice as high as in fishing (Berkes, 1979).

The overall energy input/output ratio for all hunting, fishing and trapping is difficult to calculate for the lack of data. Much of winter harvesting is done by charter bush planes. Winter bush camps, typically with two return trips to the community per winter, may be relatively energy efficient. Extrapolating from the gas subsidy program returns, and comparing this figure with the total subsistence harvest in Fort George (NHR, 1980) gives a ratio of 12.6 for kcal energy used to harvest 1 kcal of protein. While there are too many uncertainties, and this figure is no doubt questionable, an overall ratio of around 10 may be a reasonable estimate

for overall Fort George hunting, fishing and trapping (see Table II, last column).

Just as coastal commercial fisheries produce better returns (Table III), some day-trips and week-long bush camps produce better returns in the case of Cree subsistence fisheries (Table II). The two main factors involved are the trip length and the relatively modest equipment needs for these shorter trips. A systematic analysis of this issue can be made under the optimal foraging theory framework. Figure 2 is a preliminary and qualitative model of the input/output ratio under three different harvesting strategies: (A) Day-trips where the ratio is initially low, increases sharply with distance but falls again, as fishermen enter an area in which stocks are less heavily exploited and the catch per effort is high, and finally rising sharply again past that point. (B) Camping trips in which motor canoe is used not only for getting there, but also for tending nets

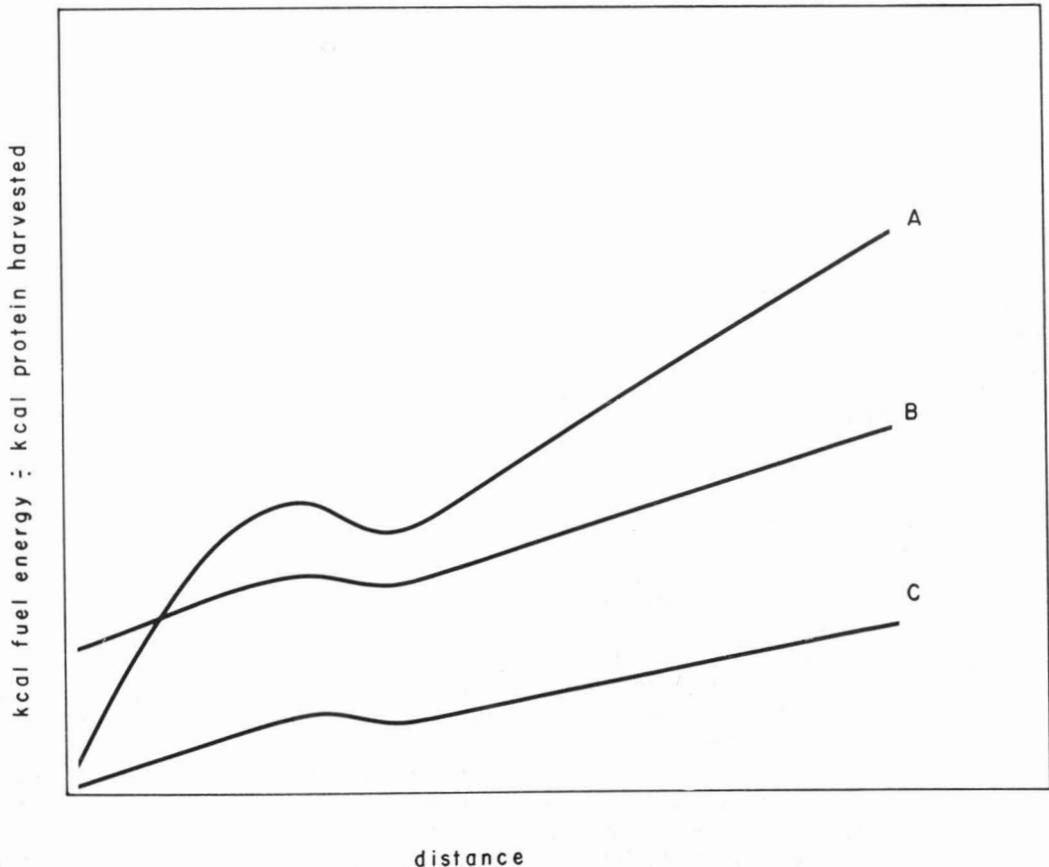


Figure 2. Energy input/output consequences of three alternate foraging strategy models: (a) day-trips, (b) camping trips with motor canoe used on fishing site, and (c) camping trips with paddle canoe used on site.

and chasing other game. Here, the ratio again increases with the distance, but not as sharply as in the first case. (C) Camping trips in which motor canoe is used for getting there but a paddle canoe is subsequently used. The ratio increases with distance, but the slope of the line, as in the second case, depends on the duration of the camping trip.

In reality, all three strategies are used by Fort George fishermen. Day-trips are preferred by fishermen who hold wage employment, or by the older men. Under this strategy, as pointed out in an earlier paper (Berkes, 1977), day-trip fishermen can compensate for the decreasing catch per unit effort by setting more nets. Camping trips are preferred by the more traditional families, those who are relatively more dependent on country food and have little available cash for store food. The feasibility of paddle canoe use on site depends on the location and whether other game is being sought. In general, longer trips allow comparatively more time to be spent in fishing, in areas where resources have not been used as intensively (hence, higher catches per unit of effort).

### Conclusions

Since the 1950's, transportation patterns have changed, together with settlement patterns. A winter trip to the Seal River 90 km north of Fort George which used to take two or three days by dog team (used until the mid-1960's) takes five hours by snowmobile. To the LG-4 area east of Fort George, it used to take several weeks by canoe and portage until the late 1950's; it takes six hours by truck and even less by charter plane. One consequence of these changes is the dramatic increase in fossil fuel energy (and total energy) subsidies into the northern subsistence hunting-fishing systems. The trend is well recognized: "while there is sufficient protein to support the traditional diet for the entire native population (in the NWT) for the short term future, it cannot be accomplished by using traditional modes of transportation... optimum distribution of the harvest will require extensive use of mechanized transport" (SAB, 1980, p. 18).

This is feasible as long as the unit cost of fuel energy is small in comparison to food protein energy (1 : 165 in 1979). As the relative cost of fuel energy increases, this will put increasing pressures on the northern food production systems which are as waste-

ful as the food production systems in industrialized regions. The present study suggests ways in which better returns can be obtained, and has implications for the siting and planning of northern settlements. In particular, policy-makers may consider ways in which bush camp activities (*outcamps* as used in the NWT) can be encouraged rather than discouraged. This may involve subsidies for two-way bush radios, scheduling of school breaks during optimum harvesting times, and income security programs for hunters-fishermen. Incidentally, many of these are happening in the eastern James Bay area and northern Québec. The quantification of energy input/output ratios may have some practical value in this regard, in assessing the success of such programs and the general status of hunting and fishing in a given community. In particular, comparative values of energy inputs and outputs across the North may serve as an index of the *health* of the bush economy.

### Acknowledgments

I thank the Fort George Band Council and the Cree Regional Authority for their cooperation. I am indebted to a great many Cree fishermen friends, too numerous to mention by name. I thank the following people who helped collect field data: R. Baxter, J. Bobbish, L. Bobbish, S. Herodier, M. Orr and R. Polson. I am indebted to G. Power and J.B. Dempson for comments and criticism. The study was supported by the SSHRC and, in the earlier years, by the NSERC.

### References

- BERGER, T.R., 1977. Northern frontier, northern homeland. The report of the Mackenzie Valley pipeline inquiry: volume two. — Supply and Services Canada, Ottawa, 268 p.
- BERKES, F., 1977. Fishery resource use in a sub-arctic Indian community. — *Hum. Ecol.*, 5: 289-307.
- BERKES, F., 1979. An investigation of Cree Indian domestic fisheries in northern Québec. — *Arctic*, 32: 46-70.
- BERKES, F. & C. FARKAS, 1978. Eastern James Bay Cree Indians: Changing patterns of wild food use and nutrition. — *Ecol. Fd Nutr.*, 7: 155-172.
- CLARK, C. & M. HASWELL, 1970. The economics of subsistence agriculture. 4th ed. — Mac-Millan, London, 267 p.
- KEMP, W. B., 1971. The flow of energy in a hunting society. — *Sci. Am.*, 224: 104-115.
- NATIVE HARVESTING RESEARCH, 1980. Research to establish present levels of harvesting by

- native peoples of northern Québec. A report on the harvests by the James Bay Cree. — James Bay and Northern Québec Native Harvesting Research Committee, Montréal, 603 p.
- PIMENTEL, D. & M. PIMENTEL, 1979. Food, energy and society. — Edward Arnold, London, 165 p.
- RAWITSCHER, M. & J. MAYER, 1977. Nutritional outputs and energy inputs in seafoods. — *Science*, 198: 261-264.
- ROCHEREAU, S. & D. PIMENTEL, 1978. Energy tradeoffs between northeast fishery production and coastal power reactors. — *Energy*, 3: 575-589.
- SCIENCE ADVISORY BOARD, 1980. Fish, fur and game in the Northwest Territories. — Science Advisory Board of the Northwest Territories. Yellowknife, NWT, 38 p.
- WATT, B.K. & A.L. MERRILL, 1963. Composition of foods. — Agriculture Handbook no. 8, USDA, Washington, D.C.



# LE NATURALISTE CANADIEN

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE SYSTÉMATIQUE

---

VOLUME 109

1982

---

Université Laval  
Québec



# LE NATURALISTE CANADIEN

Revue d'écologie et de systématique

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR  
GUY LACROIX

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION  
PIERRE MORISSET

## COMITÉ DE RÉDACTION

CYRILLE BARRETTE, *Département de biologie, Université Laval*

BERNARD BERNIER, *Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval*

ANDRÉ BOUCHARD, *Institut botanique, Université de Montréal*

CARL M. BOYD, *Département d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*

EDWIN BOURGET, *Département de biologie, Université Laval*

PIERRE COUILLARD, *Département des sciences biologiques, Université de Montréal*

JEAN-MARC DESCHÊNES, *Station de recherches, Agriculture Canada, Sainte-Foy, Québec*

FERNAND M. GAUTHIER, *Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Ministère de l'Agriculture du Québec*

PIERRE LEGENDRE, *Département de sciences biologiques, Université de Montréal*

WILLIAM C. LEGGETT, *Département de biologie, Université McGill*

JEREMY MCNEIL, *Département de biologie, Université Laval*

BERNARD J. R. PHILOGÈNE, *Département de biologie, Université d'Ottawa*

Publication trimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN (Revue d'écologie et de systématique) publie des articles *inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche en écologie, en systématique et dans certains domaines apparentés. La revue s'intéresse également aux aspects appliqués, notamment dans la perspective des ressources agricoles, forestières et halieutiques du Québec et du Canada oriental et nordique.

LE NATURALISTE CANADIEN est subventionné par le Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et par le Fonds F.C.A.C. du Québec.

Les manuscrits doivent être expédiés à l'adresse suivante : LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

Toute correspondance touchant les abonnements ou les droits de reproduction doit être adressée aux Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4. L'abonnement annuel est de \$17 (personnel), \$19 (personnel, étranger) et \$34 (collectif, *multi-user*) Le numéro régulier se vend \$5; le numéro spécial, \$12.

LE NATURALISTE CANADIEN  
Revue d'écologie et de systématique

**TABLE DES MATIÈRES DU VOLUME 109**

Numéro 1

PAGEAU, Y. <i>Forillonaspis</i> , nouvel arthrodire du Dévonien moyen des Grès de Gaspé, Québec .....	1-11
GIBSON, R.J. & Y. CÔTÉ. Production de saumonneaux et recaptures de saumons adultes étiquetés à la rivière Matamec, Côte-Nord, golfe du Saint-Laurent, Québec .....	13-25
LLAMAS, J. & B. TYANO. Synchronisme régional des crues. Analyse mathématique.	27-31
JALBERT, P., D. LARRIVÉE & J. H. HIMMELMAN. Reproductive cycle of the mottled red chiton ( <i>Tonicella marmorea</i> ) in the St. Lawrence Estuary, Québec .....	33-37
MÉNARD, G., R. McNEIL & A. BOUCHARD. Les facteurs indicatifs de la diversité des peuplements d'oiseaux forestiers du sud du Québec .....	39-50
DARVEAU, M., P. BELLEFLEUR & B. HOUDE. Modèle de simulation de la dynamique des communautés aviennes en fonction de la succession de l'érablière à bouleau jaune .....	51-62
CODY, W.J. A comparison of the northern limits of distribution of some vascular plant species found in southern Ontario .....	63-90
KAPOOR, B. M. & C. GERVAIS. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique. III .....	91-101
SEOANE, J. R. & P. GERVAIS. Valeur nutritive des foins de luzerne (Iroquois), de brome (Saratoga) et de fléole (Timfor et Champ) pour les moutons .....	103-107
GIROUX, M. Effet d'apport de potassium et de magnésium sur le rendement et la nutrition minérale de la pomme de terre et du maïs-ensilage .....	109-118

**COMMUNICATIONS BRÈVES**

BERNARD, J.-P. & B. BOIVIN. <i>Aster divaricatus</i> L. au Canada .....	119-121
COMTOIS, P. Utilisation des indices de similarité et d'association dans l'interprétation des diagrammes polliniques .....	123-127
ZARNOVICAN, R. Pertes en volume et caractéristiques dendrométriques du sapin baumier après défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette .....	129-133
CHABOT, J., J. LAPOINTE & E. LANGEVIN. Nidification du grège jougris au Québec .....	135-137
GYORKOS, T.W. & D.F.J. HILTON. The prevalence and distribution patterns of ectoparasites from wild rodents in southeastern Québec .....	139-145
REVUE DES LIVRES .....	147-151

Numéro 2

BRAIMAH, S.A., L.A. KELTON & R.K. STEWART. The predaceous and phytophagous plant bugs (Heteroptera: Miridae) found on apple trees in Québec	153-180
---	---------

LEVESQUE, M.P., S.P. MATHUR & P.J.H. RICHARD. A study of physical and chemical changes in a cultivated organic soil based on palynological synchronization of subsurface layers .....	181-187
GAUTHIER, B. L'étagement des plantes vasculaires en milieu saumâtre, estuaire du Saint-Laurent .....	189-203
GÉHU, J.M. & M.M. GRANDTNER. Les unités symphytosociologiques des sables côtiers des îles de la Madeleine, Québec .....	205-212
WALLEN, D.G. & R. ALLEN. Variations in phytoplankton communities in Canadian Arctic ponds .....	213-221
McMURRAY, S., B. VINCENT & G. VAILLANCOURT. Variations saisonnières de la température de l'eau et cycle de développement de <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède (Oligochaeta: Tubificidae) .....	223-228
DUMONT, P. Dispersion post-glaciaire de l'omble chevalier d'eau douce ( <i>Salvelinus alpinus</i> ) dans le Québec méridional .....	229-234
DAVID, A. Étude monographique du genre <i>Skeletocutis</i> (Polyporaceae) .....	235-272

### COMMUNICATIONS BRÈVES

CODY, W.J. & G.A. MULLIGAN. Chromosome numbers of some Canadian ferns and fern allies .....	273-275
CATLING, P.M. New combinations for forms and varieties of some North American orchids .....	277-278
POULIN, M., C. HUDON & A. CARDINAL. Trois nouveaux taxons de diatomées benthiques estuariennes .....	279-282
REVUE DES LIVRES .....	283-294

### Numéro 3

#### Recherches sur la baie d'Hudson et la baie James *Scientific studies on Hudson and James Bays*

I

LACROIX, G. Avant-propos .....	299-300
MARTINI, I.P. Introduction .....	301-305

#### Géologie et géomorphologie *Geology and geomorphology*

SHILTS, W.W. Quaternary evolution of the Hudson/James Bay region .....	309-332
HARDY, L. Le Wisconsinien supérieur à l'est de la baie James (Québec) .....	333-351
KRANCK, K. & A. RUFFMAN. Sedimentation in James Bay .....	353-361
D'ANGLEJEAN, B. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary, prior to river cut-off .....	363-374
CHAMPAGNE, P. Morphologie littorale de la baie de Rupert .....	375-384
CLARKE, K.E., I.P. MARTINI & W.A. GLOOSCHENKO. Sedimentary characteristics of the coastal environment of North Point, Ontario .....	385-397
SCOTT, D.B. & I.P. MARTINI. Marsh foraminifera zonations in western James and Hudson Bays .....	399-414
MARTINI, I.P. Geomorphological features on the Ontario coast of Hudson Bay ...	415-429

#### Climatologie et pergélisol *Climatology and permafrost*

FRENCH, H.M. & R. GILBERT. Periglacial phenomena near Churchill, Manitoba ..	433-444
--	---------

POITEVIN, J. & J.T. GRAY. Distribution du pergélisol dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine, Québec .....	445-455
ROUSE, W.R. The water balance of upland tundra in the Hudson Bay lowlands — Measured and modelled .....	457-467
WRIGHT, R.K. Modelling the thaw-season runoff in Nouveau-Québec .....	469-479

*Sols/Soils*

GLOOSCHENKO, W.A. & K.E. CLARKE. The salinity cycle of a subarctic salt marsh. ....	483-490
PROTZ, R. Development of gleysolic soils in the Hudson Bay and James Bay coastal zone, Ontario .....	491-500
PROTZ, R. Development of podzolic soils in the Hudson Bay and James Bay lowlands, Ontario .....	501-510
TARNOCAI, C. Soil and terrain development in the York Factory Peninsula, Hudson Bay lowland .....	511-522
MOORE, T.R. Nutrients in subarctic woodland soil .....	523-529

*Végétation  
Vegetation*

GORHAM, E. Some unsolved problems in peatland ecology .....	533-541
RILEY, J.L. Hudson Bay lowland floristic inventory, wetlands catalogue and conservation strategy .....	543-555
FILION, L. & S. PAYETTE. Régime nival et végétation chionophile à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec .....	557-571
COWLES, S. Preliminary results investigating the effects of lichen ground cover on the growth of black spruce .....	573-781
REZNICEK, S.A. & J. SVOBODA. Tundra communities along a micro-environmental gradient at Coral Harbour, Southampton Island, N.W.T .....	583-595
McANDREWS, J.H., J.L. RILEY & A.M. DAVIS. Vegetation history of the Hudson Bay lowland: a postglacial pollen diagram from the Sutton Ridge .....	597-608

*Cartographie et classification des terres  
Mapping and ecological land classification*

SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE. Use of vegetational physiognomy in classifying treed peatlands near southern James Bay, Ontario .....	611-619
JEGLUM, J.K. & D.W. COWELL. Wetland ecosystems near Kinoje lakes, southern interior Hudson Bay lowland .....	621-635
PALA, S. & W. WEISCHET. Toward a physiographic analysis of the Hudson Bay-James Bay lowland .....	637-651
PALA, S. & A. BOISSONNEAU. Wetland classification maps for the Hudson Bay lowland .....	653-659
FORTIN, N. & P. LEGENDRE. Application de la cartographie écologique à la localisation environnementale d'un réseau routier .....	661-670

Numéro 4

Recherches sur la baie d'Hudson et la baie James  
*Scientific studies on Hudson and James Bays*

II

*Océanographie physique  
Physical oceanography*

DUNBAR, M. Oceanographic research in Hudson and James Bays .....	677-683
--	---------

PRINSENBERG, S.J. Time variability of physical oceanographic parameters in Hudson Bay .....	685-700
SADLER, H.E. Water flow into Foxe Basin through Fury and Hecla Strait .....	701-707
BUDGEELL, W.P. Spring-neap variation in the vertical stratification of Chesterfield Inlet, Hudson Bay .....	709-718
OUELLET, Y., J. LLAMAS & J.C. RASSAM. Analyse des fluctuations du niveau d'eau dans le détroit de Manitounuk, à l'est de la baie d'Hudson .....	719-731
INGRAM, R.G. Mean and tidal circulation of the Eastmain River (James Bay) .....	733-743
FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT. Physical, chemical, and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson Bays .....	745-764

Écologie marine  
*Marine ecology*

PETT, R.J. & J.C. ROFF. Some observations and deductions concerning the deep waters of Hudson Bay .....	767-774
LEGENDTRE, L., R.G. INGRAM & Y. SIMARD. Aperiodic changes of water column stability and phytoplankton in an arctic coastal embayment, Manitounuk Sound, Hudson Bay .....	775-786
GRAINGER, E.H. Factors affecting phytoplankton stocks and primary productivity at the Belcher Islands, Hudson Bay .....	787-791
GRENON, J.-F. The macrobenthic fauna of the Eastmain River estuary (James Bay, Québec), before the diversion .....	793-802
OCHMAN, S. & J. DODSON. Composition and structure of the larval and juvenile fish community of the Eastmain river and estuary, James Bay .....	803-813
LAMBERT, Y. & J. DODSON. Structure et rôle des facteurs physiques dans le maintien des communautés estuariennes de poissons de la baie James .....	815-823

Impact écologique des aménagements hydro-électriques  
*Environmental impact of hydroelectric projects*

PRINSENBERG, S.J. Present and future circulation and salinity in James Bay .....	827-841
DENIS, R. & P. DESROCHES. Modèles réduits de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et du détroit de Manitounuk .....	843-855
SERODES, J.B. Demande en oxygène des sols et arbres noyés du réservoir La Grande 2, baie James .....	857-867
THÉRIEN, N., K. MORRISON, M. DE BROISSIA & B. MARCOS. Simulation model of plankton dynamics in reservoirs of the La Grande River complex .....	869-881
ROY, D. Répercussions de la coupure de la Grande Rivière à l'aval de LG 2 .....	883-891

Biologie de la faune  
*Wildlife biology*

GASTON, A.J. On the seabirds of northern Hudson Bay .....	895-903
KERBES, R.H. Lesser snow geese and their habitat on west Hudson Bay .....	905-911
THOMAS, V.G. & J.P. PREVETT. The roles of James and Hudson Bay lowland in the annual cycle of geese .....	913-925
ROSS, R.K. Duck distribution along the James and Hudson Bay coasts of Ontario .....	927-932
PREVETT, J.P. & G.B. KOLENOSKY. The status of polar bears in Ontario .....	933-939
RAMSAY, M.A. & I. STIRLING. Reproductive biology and ecology of female polar bears in western Hudson Bay .....	941-946
MEREDITH, T.C. & L. MÜLLER-WILLE. The caribou of Nouveau-Québec, an important biological resource. Economic aspects of Naskapi utilization .....	947-952

Écologie humaine  
*Human ecology*

FREEMAN, M.M.R. An ecological perspective on man-environment research in the Hudson and James Bay region .....	955-963
--	---------

BERRY, J.W., R.M. WINTROB, P.S. SINDELL & T. MAWHINNEY. Psychological adaptation to culture change among the James Bay Cree .....	965-975
BURKE, S.O., L.A. SAYERS, J.G. WRAY & A.J. BAUMGART. Indian children: a Denver development screening test validity study .....	977-981
HODGE, G. Analyses for northern development planning: a plea for appropriate technology .....	983-987
ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. MCGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE. Big Trout Lake Ontario. I: An example of community decision making .....	989-999
ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. MCGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE. Big Trout Lake Ontario. II: Cultural eutrophication and appropriate technological solutions in northern communities .....	1001-1010
BERKES, F. Energy subsidies and native domestic (subsistence) fisheries .....	1011-1019

TABLE DES MATIÈRES DU VOLUME 109

INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS



## INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

ALLEN, R. (voir WALLEN, D.G. & R. ALLEN) .....	213-221
BAUMGART, A.J. (voir BURKE, S.O., L.A. SAYERS, J.G. WRAY & A.J. BAUMGART) .....	977-981
BELLEFLEUR, P. (voir DARVEAU, M., P. BELLEFLEUR & B. HOUDE) .....	51-62
BERKES, F. Energy subsidies and native domestic (subsistence) fisheries .....	1011-1019
BERNARD, J.-P. & B. BOIVIN. <i>Aster divaricatus</i> L. au Canada .....	119-121
BERRY, J.W., R.M. WINTROB, P.S. SINDELL & T. MAWHINNEY. Psychological adaptation to culture change among the James Bay Cree .....	965-975
BOISSONNEAU, A. (voir S. PALA & A. BOISSONNEAU) .....	653-659
BOIVIN, B. (voir BERNARD, J.-P. & B. BOIVIN) .....	119-121
BOUCHARD, A. (voir MÉNARD, G., R. McNEIL & A. BOUCHARD) .....	39-50
BRAIMAH, S.A., L.A. KELTON & R.K. STEWART. The predaceous and phytophagous plant bugs (Heteroptera: Miridae) found on apple trees in Québec ...	153-180
BUDGELL, W.P. Spring-neap variation in the vertical stratification of Chesterfield Inlet, Hudson Bay .....	709-718
BURKE, S.O., L.A. SAYERS, J.G. WRAY & A.J. BAUMGART. Indian children: a Denver developmental screening test validity study .....	977-981
CARDINAL, A. (voir POULIN, M., C. HUDON & A. CARDINAL) .....	279-282
CATLING, P.M. New combinations for forms and varieties of some North American orchids .....	277-278
CHABOT, J., J. LAPOINTE & E. LANGEVIN. Nidification du grèbe jougris au Québec .....	135-137
CHAMPAGNE, P. Morphologie littorale de la baie de Rupert .....	375-384
CLARKE, K.E. (voir GLOOSCHENKO, W.A. & K.E. CLARKE) .....	483-490
CLARKE, K.E., I.P. MARTINI & W.A. GLOOSCHENKO. Sedimentary characteristics of the coastal environment of North Point, Ontario .....	385-397
CODY, W.J. A comparison of the northern limits of distribution of some vascular plant species found in southern Ontario .....	63-90
CODY, W.J. & G.A. MULLIGAN. Chromosome numbers of some ferns and fern allies .....	273-275
COMTOIS, P. Utilisation des indices de similarité et d'association dans l'interprétation des diagrammes polliniques .....	123-127
CÔTÉ, Y. (voir GIBSON, R.J. & Y. CÔTÉ) .....	13-25
COWELL, D.W. (voir JEGLUM, J.K. & D.W. COWELL) .....	621-635
COWELL, D.W. (voir SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE) .....	611-619
COWLES, S. Preliminary results investigating the effect of lichen ground cover on the growth of black spruce .....	573-571
D'ANGLEJEAN, B. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary, prior to river cut-off .....	363-374
DARVEAU, M., P. BELLEFLEUR & B. HOUDE. Modèle de simulation de la dynamique des communautés aviennes en fonction de la succession de l'érablière à bouleau jaune .....	51-62
DAVID, A. Étude monographique du genre <i>Skeletocutis</i> (Polyporaceae) .....	235-272
DAVIS, A.M. (voir McANDREWS, J.H., J.L. RILEY & A.M. DAVIS) .....	597-608
DE BROISSIA, M. (voir THÉRIEN, N., K. MORRISON, M. DE BROISSIA & B. MARCOS) .....	869-881
DENIS, R. & P. DESROCHES. Modèles réduits de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et du détroit de Manitounuk .....	843-855
DESROCHES, P. (voir DENIS, R. & P. DESROCHES) .....	843-855
DODSON, J. (voir LAMBERT, Y. & J. DODSON) .....	815-823



DODSON, J. (voir OCHMAN, S. & J. DODSON) .....	803-813
DUMONT, P. Dispersion post-glaciaire de l'omble chevalier d'eau douce ( <i>Salvelinus alpinus</i> ) dans le Québec méridional .....	229-234
DUNBAR, M. Oceanographic research in Hudson and James Bays .....	677-683
FILION, L. & S. PAYETTE. Régime nival et végétation chionophile à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec .....	557-571
FORTIN, N. & P. LEGENDRE. Application de la cartographie écologique à la localisation environnementale d'un réseau routier .....	661-670
FREEMAN, M. M. R. An ecological perspective on man-environment research in the Hudson .....	955-963
FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT. Physical, chemical, and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson Bays .....	745-764
FRENCH, H. M. & R. GILBERT. Periglacial phenomena near Churchill, Manitoba ..	433-444
GASTON, A.J. On the seabirds on northern Hudson Bay .....	895-903
GAUTHIER, B. L'étagement des plantes vasculaires en milieu saumâtre, estuaire du Saint-Laurent .....	189-203
GÉHU, J. M. & M. M. GRANDTNER. Les unités symphytosociologiques des sables côtiers des îles de la Madeleine, Québec .....	205-212
GERVAIS, C. (voir B. M. KAPOOR & C. GERVAIS) .....	91-101
GERVAIS, P. (voir SEOANE, J. R. & P. GERVAIS) .....	103-107
GIBSON, R. J. & Y. CÔTÉ. Production de saumonceaux et recaptures de saumons adultes étiquetés à la rivière Matamec, Côte-Nord, golfe du Saint-Laurent, Québec .....	13-25
GILBERT, R. (voir FRENCH, H. M. & R. GILBERT) .....	433-444
GIROUX, M. Effet d'apport de potassium et de magnésium sur le rendement et la nutrition minérale de la pomme de terre et du maïs-ensilage .....	109-118
GLOOSCHENKO, W. A. (voir CLARKE, K. E., I. P. MARTINI & W. A. GLOOSCHENKO).	385-397
GLOOSCHENKO, W. A. & K. E. CLARKE. The salinity cycle of a subarctic salt marsh .....	483-490
GORHAM, E. Some unsolved problems in peatland ecology .....	533-541
GRAINGER, E. H. Factors affecting phytoplankton stocks and primary productivity at the Belcher Islands, Hudson Bay .....	787-791
GRANDTNER, M. M. (voir GÉHU, J. M. & M. M. GRANDTNER) .....	205-212
GRAY, J. T. (voir POITEVIN, J. & J. T. GRAY) .....	445-455
GRENON, J.-F. The macrobenthic fauna of the Eastmain River estuary (James Bay, Québec), before the diversion .....	793-802
GYORKOS, T. W. & D. F. J. HILTON. The prevalence and distribution patterns of ectoparasites from wild rodents in southeastern Québec .....	139-145
HARDY, L. Le Wisconsinien supérieur à l'est de la baie James (Québec) .....	333-351
HILTON, D. F. J. (voir GYORKOS, T. W. & D. F. J. HILTON) .....	139-145
HIMMELMAN, J. H. (voir JALBERT, P., D. LARRIVÉE & J. H. HIMMELMAN) .....	33-37
HODGE, G. Analysis for northern development planning: a plea for appropriate technology .....	983-987
HOUDE, B. (voir DARVEAU, M., P. BELLEFLEUR & B. HOUDE) .....	51-62
HUDON, C. (voir POULIN, M., C. HUDON & A. CARDINAL) .....	279-282
INGRAM, R. G. Mean and tidal circulation of the Eastmain River (James Bay) .....	733-743
INGRAM, R. G. (voir LEGENDRE, L., R. G. INGRAM & Y. SIMARD) .....	775-786
JACKSON, T. (voir ZIMMERMAN, A. P., T. JACKSON, H. G. MCGARRY, W. RYBCZNSKI & A. V. WHYTE) .....	989-999
JACKSON, T. (voir ZIMMERMAN, A. P., T. JACKSON, H. G. MCGARRY, W. RYBCZYNSKI & A. V. WHYTE) .....	1001-1010
JALBERT, P., D. LARRIVÉE & J. H. HIMMELMAN. Reproductive cycle of the mottled red chiton ( <i>Tonicella marmorea</i> ) in the St. Lawrence Estuary, Québec .....	33-37
JEGLUM, J. K. & D. W. COWELL. Wetland ecosystems near Kinoje lakes, southern interior Hudson Bay lowland .....	621-635
KAPOOR, B. M. & C. GERVAIS. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique. III .....	91-101

KELTON, L.A. (voir BRAIMAH, S.A., L.A. KELTON & R.K. STEWART) .....	153-180
KERBES, R.H. Lesser snow geese and their habitat on west Hudson Bay .....	905-911
KOLENOSKY, G.B. (voir PREVETT, J.P. & G.B. KOLENOSKY) .....	933-939
KRANCK, K. & A. RUFFMAN. Sedimentation in James Bay .....	353-361
LAMBERT, Y. & J. DODSON. Structure et rôle des facteurs physiques dans le maintien des communautés estuariennes de poissons de la baie James .....	815-823
LANGEVIN, E., (voir CHABOT, J., J. LAPOINTE & E. LANGEVIN) .....	135-137
LAPOINTE, J. (voir CHABOT, J., J. LAPOINTE & E. LANGEVIN) .....	135-137
LARRIVÉE, D. (voir JALBERT, P., D. LARRIVÉE & J.H. HIMMELMAN) .....	33-37
LEGENDRE, L., R.G. INGRAM & Y. SIMARD. Aperiodic changes of water column stability and phytoplankton in an arctic coastal embayment, Manitounuk Sound, Hudson Bay .....	775-786
LEGENDRE, P. (voir FORTIN, N. & P. LEGENDRE) .....	661-670
LÉVESQUE, M.P., S.P. MATHUR & P.J.H. RICHARD, A study of physical and chemical changes in a cultivated organic soil based on palynological syn- chronization of subsurface layers .....	181-187
LLAMAS, J. & B. TYANO. Synchronisme régional des crues. Analyse mathématique .....	27-31
LLAMAS, J. (voir OUELLET, Y., J. LLAMAS & J.C. RASSAM) .....	719-731
MARCOS, B. (voir THÉRIEN, N., K. MORRISON, M. BROISSIA & B. MARCOS) .....	869-881
MARTINI, I.P. Geomorphological features on the Ontario coast of Hudson Bay ...	415-429
MARTINI, I.P. (voir SCOTT, D.B. & I.P. MARTINI) .....	399-414
MARTINI, I.P. (voir CLARKE, K.E., I.P. MARTINI & W.A. GLOOSCHENKO) .....	385-397
MATHUR, S.P. (voir LÉVESQUE, M.P., S.P. MATHUR & P.J.H. RICHARD) .....	181-187
MAWHINNEY, T. (voir BERRY, J.W., R.M. WINTROB, P.S. SINDELL & T. MAW- HINNEY) .....	965-975
McANDREWS, J.H., J.L. RILEY & A.M. DAVIS. Vegetation history of the Hudson Bay lowland : a postglacial pollen diagram from the Sutton Ridge .....	597-608
McGARRY, H.G. (voir ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYB- ZYNSKI & A.V. WHYTE) .....	989-999
McGARRY, H.G. (voir ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYB- CZYNSKI & A.V. WHYTE) .....	1001-1010
McMURRAY, S., B. VINCENT & G. VAILLANCOURT, Variations saisonnières de la température de l'eau et cycle de développement de <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède (Oligochaeta : Tubificidae) .....	223-228
McNEIL, R. (voir MÉNARD, G., R. McNEIL & A. BOUCHARD) .....	39-50
MÉNARD, G., R. McNEIL & A. BOUCHARD. Les facteurs indicatifs de la diversité des peuplements d'oiseaux forestiers du sud du Québec .....	39-50
MEREDITH, T.C. & L. MÜLLER-WILLE. The caribou of Nouveau-Québec, an im- portant biological resource. Economic aspects of Naskapi utilization .....	947-952
MOORE, T.R. Nutrients in subarctic woodland soil .....	523-529
MORRISON, K. (voir THÉRIEN, N., K. MORRISON, M. DE BROISSIA & B. MARCOS). 869-881	
MÜLLER-WILLE, L. (voir MEREDITH, T.C. & L. MÜLLER-WILLE) .....	947-952
MULLIGAN, G.A. (voir CODY, W.J. & G.A. MULLIGAN) .....	273-275
OCHMAN S. & J. DODSON. Composition and structure of the larval and juvenile fish community of the Eastmain River and estuary, James Bay .....	803-813
OUELLET, Y., J. LLAMAS & J.C. RASSAM. Analyse des fluctuations du niveau d'eau dans le détroit du Manitounuk, à l'est de la baie d'Hudson .....	719-731
PAGEAU, Y. <i>Forillonaspis</i> , nouvel arthrodire du Dévonien moyen des Grès de Gas- pé, Québec .....	1-11
PALA, S. & A. BOISSONNEAU. Wetland classification maps for the Hudson Bay lowland .....	653-659
PALA, S. & W. WEISCHET. Toward a physiographic analysis of the Hudson Bay- James Bay lowland .....	637-651
PAYETTE, S. (voir FILION, L. & S. PAYETTE) .....	557-571
PETT, R.J. & J.C. ROFF. Some observations and deductions concerning the deep waters of Hudson Bay .....	767-774

PETT, R.J. (voir FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT) .....	745-764
POITEVIN, J. & J.T. GRAY. Distribution du pergélisol dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine, Québec .....	445-455
POULIN, M., C. HUDON & A. CARDINAL. Trois nouveaux taxons de diatomées benthiques estuariennes .....	279-282
PREVETT, J.P. & G.B. KOLENOSKY. The status of polar bears in Ontario .....	933-939
PREVETT, J.P. (voir THOMAS, V.G. & J.P. PREVETT) .....	913-925
PRINSENBERG, S.J. Present and future circulation and salinity in James Bay .....	827-841
PRINSENBERG, S.J. Time variability of physical oceanographic parameters in Hudson Bay .....	685-700
PROTZ, R. Development of gleysolic soils in the Hudson Bay and James Bay coastal zone, Ontario .....	491-500
PROTZ, R. Development of podzolic soils in the Hudson Bay and James Bay lowlands, Ontario .....	501-510
RAMSAY, M.A. & I. STIRLING. Reproductive biology and ecology of female polar bears in western Hudson Bay .....	941-946
RASSAM, J.C. (voir OUELLET, Y., J. LLAMAS & J.C. RASSAM) .....	719-731
REZNICEK, S.A. & J. SVOBODA. Tundra communities along a micro-environmental gradient at Coral Harbour, Southampton Island, N.W.T. ....	583-595
RICHARD, P.J.H. (voir LÉVESQUE, M.P., S.P. MATHUR & P.J.H. RICHARD) .....	181-187
RILEY, J.L. Hudson Bay lowland floristic inventory, wetlands catalogue and conservation strategy .....	543-555
RILEY, J.L. (voir McANDREWS, J.H., J.L. RILEY & A.M. DAVIS) .....	597-608
ROFF, J.C. (voir PETT, R.J. & J.C. ROFF) .....	767-774
ROFF, J.C. (voir FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT) .....	745-764
ROSS, R.K. Duck distribution along the James and Hudson Bay coasts of Ontario. ....	927-932
ROUSE, W.R. The water balance of upland tundra in the Hudson Bay lowlands — Measured and modelled .....	457-467
ROY, D. Répercussions de la coupure de la Grande Rivière à l'aval de LG 2 .....	883-891
RUFFMAN, A. (voir KRANCK, K. & A. RUFFMAN) .....	353-361
RYBCZYNSKI, W. (voir ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE) .....	989-999
RYBCZYNSKI, W. (voir ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE) .....	1001-1010
SADLER, H.E. Water flow into Foxe Basin through Fury and Hecla Strait .....	701-707
SAYERS, L.A. (voir BURKE, S.O., L.A. SAYERS, J.G. WRAY & A.J. BAUMGART) ..	977-981
SCOTT, D.B. & I.P. MARTINI. Marsh foraminifera zonation in western James and Hudson bays .....	399-414
SEOANE, J.R. & P. GERVAIS. Valeur nutritive des foins de luzerne (Iroquois), de brome (Saratoga) et de fléole (Timfor et Champ) pour les moutons .....	103-107
SERODES, J.B. Demande en oxygène des sols et arbres noyés du réservoir La Grande 2, baie James .....	857-867
SHILTS, W.W. Quaternary evolution of the Hudson/James Bay region .....	309-332
SIMARD, Y. (voir LEGENDRE, L., R.G. INGRAM & Y. SIMARD) .....	775-786
SINDELL, P.S. (voir BERRY, J.W., R.M. WINTROB, P.S. SINDELL & T. MAWHINNEY) .....	965-975
SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE. Use of vegetational physiognomy in classifying treed peatlands near southern James Bay, Ontario .....	611-619
STEWART, R.K. (voir BRAIMAH, S.A., L.A. KELTON & R.K. STEWART) .....	153-180
STIRLING, I. (voir RAMSAY, M.A. & I. STIRLING) .....	941-946
SVOBODA, J. (voir REZNICEK, S.A. & J. SVOBODA) .....	583-595
TARNOCAI, C. Soil and terrain development in the York Factory Peninsula, Hudson Bay lowland .....	511-522
THÉRIEN, H., K. MORRISON, M. DE BROISSIA & B. MARCOS. A simulation model of plankton dynamics in reservoirs of the La Grande River complex .....	869-881
THOMAS, V.G. & J.P. PREVETT. The roles of James and Hudson Bay lowland in the annual cycle of geese .....	913-925

TYANO, B. (voir LLAMAS, J. & B. TYANO) .....	27-31
VAILLANCOURT, G. (voir McMURRAY, S., B. VINCENT & G. VAILLANCOURT) .....	223-228
VINCENT, B. (voir McMURRAY, S., B. VINCENT & G. VAILLANCOURT) .....	223-228
WALLEN, D.G. & R. ALLEN. Variations in phytoplankton communities in Canadian Arctic ponds .....	213-221
WEISCHET, W. (voir PALA, S. & W. WEISCHET) .....	637-651
WHYTE, A.V. (voir ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE) .....	989-999
WHYTE, A.V. (voir ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE) .....	1001-1010
WICKWARE, G.M. (voir SIMS, R.A., D.W. COWELL & G.M. WICKWARE) .....	611-619
WINTROB, R.M. (voir BERRY, J.W., R.M. WINTROB, P.S. SINDELL & T. MAWHINNEY) .....	965-975
WRAY, J.G. (voir BURKE, S.O., L.A. SAYERS, J.G. WRAY & A.J. BAUMGART) .....	977-981
WRIGHT, R.K. Modelling the thaw-season runoff in Nouveau-Québec .....	469-479
ZARNOVICAN, R. Pertes en volume et caractéristiques dendrométriques du sapin baumier après défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette .....	129-133
ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE. Big Trout Lake, Ontario. I: An example of community decision-making .....	989-999
ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. McGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE. Big Trout Lake, Ontario. II: Cultural eutrophication and appropriate technological solutions in northern communities .....	1001-1010



Biologie de la faune  
*Wildlife biology*

GASTON, A.J. On the seabirds of northern Hudson Bay .....	895-903
KERBES, R.H. Lesser snow geese and their habitat on west Hudson Bay .....	905-911
THOMAS, V.G. & J.P. PREVETT. The roles of James and Hudson Bay lowland in the annual cycle of geese .....	913-925
ROSS, R.K. Duck distribution along the James and Hudson Bay coasts of Ontario	927-932
PREVETT, J.P. & G.B. KOLENOSKY. The status of polar bears in Ontario .....	933-939
RAMSAY, M.A. & I. STIRLING. Reproductive biology and ecology of female polar bears in western Hudson Bay .....	941-946
MEREDITH, T.C. & L. MÜLLER-WILLE. The caribou of Nouveau-Québec, an important biological resource. Economic aspects of Naskapi utilization .....	947-952

Écologie humaine  
*Human ecology*

FREEMAN, M.M.R. An ecological perspective on man-environment research in the Hudson and James Bay region .....	955-963
BERRY, J.W., R.M. WINTROB, P.S. SINDELL & T. MAWHINNEY. Psychological adaptation to culture change among the James Bay Cree .....	965-975
BURKE, S.O., L.A. SAYERS, J.G. WRAY & A.J. BAUMGART. Indian children: a Denver development screening test validity study .....	977-981
HODGE, G. Analyses for northern development planning: a plea for appropriate technology .....	983-987
ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. MCGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE. Big Trout Lake Ontario. I: An example of community decision making .....	989-999
ZIMMERMAN, A.P., T. JACKSON, H.G. MCGARRY, W. RYBCZYNSKI & A.V. WHYTE. Big Trout Lake Ontario. II: Cultural eutrophication and appropriate technological solutions in northern communities .....	1001-1010
BERKES, F. Energy subsidies and native domestic (subsistence) fisheries .....	1011-1019

**TABLE DES MATIÈRES DU VOLUME 109**

**INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS**

LE NATURALISTE CANADIEN  
Revue d'écologie et de systématique

Volume 109

1982

Numéro 4

**Recherches sur la baie d'Hudson et la baie James**  
***Scientific studies on Hudson and James Bays***

II

Océanographie physique  
*Physical oceanography*

DUNBAR, M. Oceanographic research in Hudson and James Bays .....	677-683
PRINSENBERG, S.J. Time variability of physical oceanographic parameters in Hudson Bay .....	685-700
SADLER, H.E. Water flow into Foxe Basin through Fury and Hecla Strait .....	701-707
BUDGEELL, W.P. Spring-neap variation in the vertical stratification of Chesterfield Inlet, Hudson Bay .....	709-718
OUELLET, Y., J. LLAMAS & J.C. RASSAM. Analyse des fluctuations du niveau d'eau dans le détroit de Manitousuk, à l'est de la baie d'Hudson .....	719-731
INGRAM, R.G. Mean and tidal circulation of the Eastmain River (James Bay) .....	733-743
FREEMAN, N.G., J.C. ROFF & R.J. PETT. Physical, chemical, and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson Bays .....	745-764

Écologie marine  
*Marine ecology*

PETT, R.J. & J.C. ROFF. Some observations and deductions concerning the deep waters of Hudson Bay .....	767-774
LEGENDRE, L., R.G. INGRAM & Y. SIMARD. Aperiodic changes of water column stability and phytoplankton in an arctic coastal embayment, Manitousuk Sound, Hudson Bay .....	775-786
GRAINGER, E.H. Factors affecting phytoplankton stocks and primary productivity at the Belcher Islands, Hudson Bay .....	787-791
GRENON, J.-F. The macrobenthic fauna of the Eastmain River estuary (James Bay, Québec), before the diversion .....	793-802
OCHMAN, S. & J. DODSON. Composition and structure of the larval and juvenile fish community of the Eastmain River and estuary, James Bay .....	803-813
LAMBERT, Y. & J. DODSON. Structure et rôle des facteurs physiques dans le maintien des communautés estuariennes de poissons de la baie James .....	815-823

Impact écologique des aménagements hydro-électriques  
*Environmental impact of hydroelectric projects*

PRINSENBERG, S.J. Present and future circulation and salinity in James Bay .....	827-841
DENIS, R. & P. DESROCHES. Modèles réduits de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et du détroit de Manitousuk .....	843-855
SERODES, J.B. Demande en oxygène des sols et arbres noyés du réservoir La Grande 2, baie James .....	857-867
THÉRIEN, N., K. MORRISON, M. DE BROISSIA & B. MARCOS. A simulation model of plankton dynamics in reservoirs of the La Grande River complex .....	869-881
ROY, D. Répercussions de la coupure de la Grande Rivière à l'aval de LG 2 .....	883-891

(Suite au verso)  
(Continued on inside back cover)