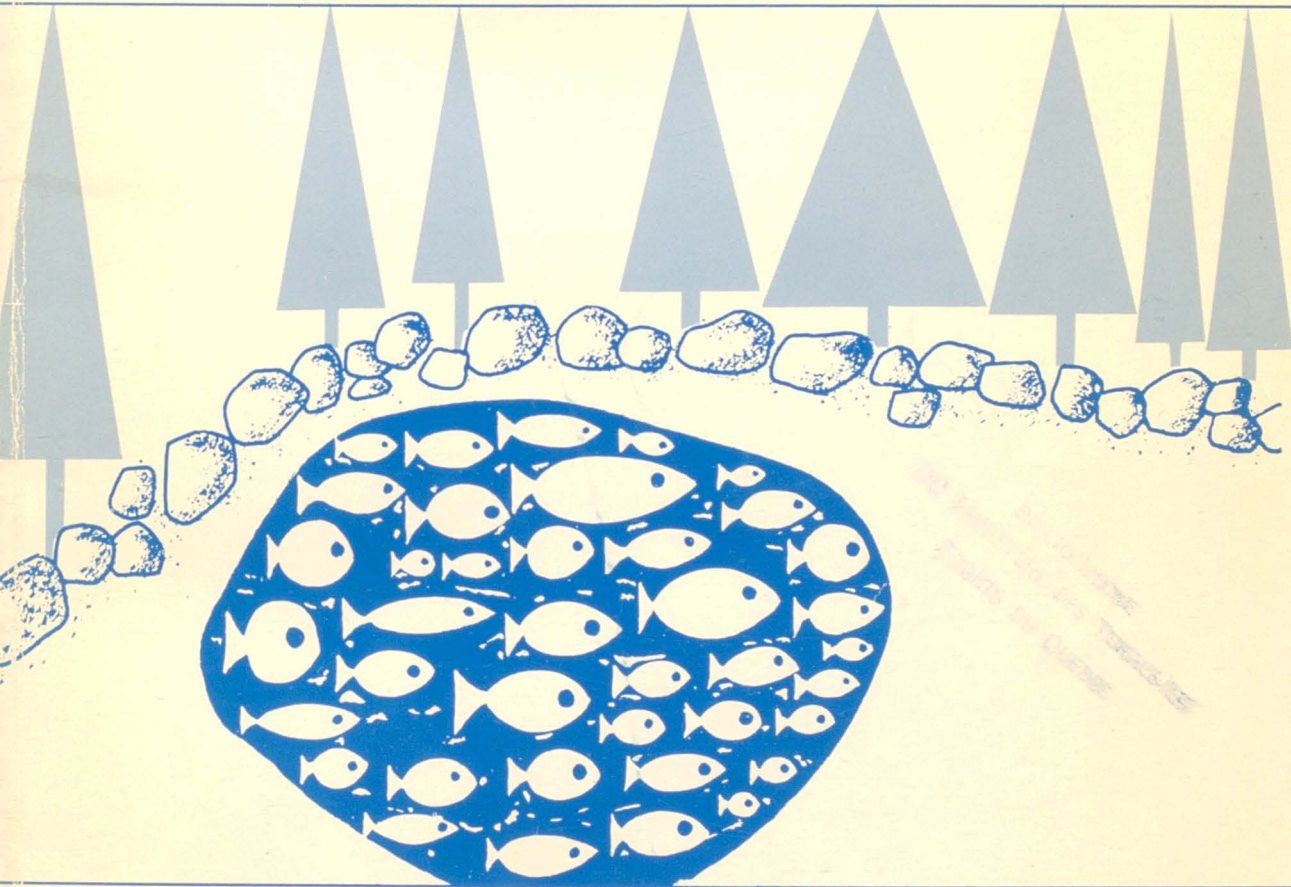


Volume 106,
numéro 1
janvier-février 1979

le naturaliste canadien

revue d'écologie et de systématique

L'OCÉANOGRAPHIE DE L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT OCEANOGRAPHY OF THE ST. LAWRENCE ESTUARY



Fondé en 1888
par l'abbé L. Provancher

Les Presses de l'Université Laval

LE NATURALISTE CANADIEN

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR

G.-WILFRID CORRIVAUT

DIRECTEUR-ADJOINT

MIROSLAV GRANDTNER

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

PIERRE MORISSET

COMITÉ DE RÉDACTION

RENÉ BÉLAND, *Université Laval*

RENÉ BÉIQUE, *Direction générale de la conservation, Ministère des terres et forêts, Québec*

JULIEN BERGERON, *Ministère de l'industrie et du commerce, Québec*

BERNARD BERNIER, *Université Laval*

PAUL BERTHET, *Faculté des sciences de Lyon*

PIERRE COUILLARD, *Université de Montréal*

MICHEL DELSOL, *Faculté catholique de Lyon*

LYDD M. DICKIE, *Institut d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*

ANDRÉ GAGNON, *Université Laval*

PAUL GERVAIS, *Université Laval*

ROGER HEIM, *Muséum national d'histoire naturelle de Paris*

WILLIAM S. HOAR, *Université de la Colombie-Britannique*

ROBERT LAGUEUX, *Université Laval*

VICTORIN LAVOIE, *Université Laval*

ERNEST LI PAGE, *Saint-Simon, Rimouski*

TREVOR PLATT, *Laboratoire d'écologie marine, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, N. E.*

GASTON MOISAN, *Service de la faune du Québec*

W.E. RICKER, *Office des recherches sur les pêcheries du Canada*

D. M. ROSS, *Université d'Alberta*

HENRI TINTANT, *Faculté des sciences de Dijon*

ADMINISTRATION (abonnements, changements d'adresse, droits de reproduction):

Les Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4

Abonnement annuel

personnel: \$17.00 — collectif: \$34.00 — le numéro: \$4.00
Étranger: \$19.00 (multi-user) — numéros spéciaux: \$10.00

Publication bimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN accepte des **articles inédits**, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée (agronomique, forestière), de la systématique, de la morphologie ou des sciences de la terre.

De brèves **communications scientifiques** seront acceptées pour publication rapide. Elles ne devront pas excéder 1,500 mots, titre et bibliographie compris.

Les **manuscrits** doivent être adressés au **Secrétariat de la rédaction**, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec G1K 7P4, Québec.

LE NATURALISTE CANADIEN est publié avec l'aide du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec.

Répertorié dans Current Contents, Biological Abstracts et Périodex.

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement no 1768

Dépôt légal — Troisième trimestre 1978. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

Recueil des communications
présentées au Symposium

sur

*L'OCÉANOGRAPHIE DE L'ESTUAIRE
DU SAINT-LAURENT*

OCEANOGRAPHY OF THE ST. LAWRENCE ESTUARY

*Université du Québec à Rimouski
Rimouski, Québec, Canada
12-14 avril 1978*

Éditeur en chef/General editor

Mohammed I. EL-SABH

Éditeurs adjoints/Co-editors

E. BOURGET, M.J. BEWERS et J.C. DIONNE

Les Presses de l'Université Laval
Québec, Canada
1979

Liste des collaborateurs/*List of contributors*

- AUBIN, F. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- BEWERS, J. M. Lab. d'océanographie de l'Atlantique, Institut de Bedford, Dartmouth, N.E. B2Y 4A2
- BOLDUC, P. A. Department of Fisheries and the Environment, Ottawa, Ontario.
- BOUDREAULT, R. F. 867, des Ormes, St-Nicolas est, Québec. G0S 3L0
- BOULVA, J. Pêches et Environnement Canada, Division des Sciences halieutiques, C.P. 15500, Québec. G1K 7X7
- BOURGET, E. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- BRETON-PROVENCHER, M. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- BRIAND, J. M. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- BRUNEL, P. Département des Sciences biologiques, GIROQ, Université de Montréal.
- CANUEL, G. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- CARDINAL, A. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- CHANUT, J.-P. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- CHOINIÈRE, A. Département d'océanographie, Université du Québec à Rimouski, 300, avenue des Ursulines, Rimouski, Québec. G5L 3A1
- COOTE, A. Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia. B2Y 4A2
- COSSA, D. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- CÔTÉ, G. Pêches et Environnement Canada, Division des Sciences halieutiques, C.P. 15500, Québec. G1K 7X7
- CÔTÉ, R. Université du Québec à Chicoutimi, 930, Jacques-Cartier, Chicoutimi
- COUTU, Y. 8073, David Boyer, Lasalle. H8N 1Z9
- D'ANGLEJAN, B. Marine Sciences Center, GIROQ, 772, Sherbrooke ouest, McGill University, Montréal.
- DEGUISE, J.-C. Marine Sciences Center, GIROQ, Université McGill, Montréal.
- DE LADURANTAYE, R. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- DEMERS, S. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- DIONNE, J. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- DIONNE, J.-C. Environnement Canada, Case Postale 10 100, Québec. G1V 4H5
- DRAPEAU, G. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- EL-SABH, M. I. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski, G5L 3A1
- FORTIN, G. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- GAGNÉ, J. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- GAGNON, M. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- GAGNON, M. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- GAUTIER, C. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- GOBEIL, C. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski, G5L 3A1
- GODIN, G. Service des données sur le milieu marin, Direction générale de l'information marine, Sciences océaniques et aquatiques, Département de l'Environnement, 580, rue Booth, Ottawa, Ontario.
- HOFF, J. Institut für Meereskunde an der, Universität Kiel, Abt Meereschemie, 23 Kiel, West Germany.
- INGRAM, R. G. Marine Sciences Center, GIROQ, Montréal. Université McGill.
- KHALIL, M. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- KOUTITONSKY, V. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- KRANCK, K. Atlantic Ocean. Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia.
- LACROIX, G. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- LAKSHMINARAYANA, J.S.S. Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Moncton, Moncton, N.B.
- LAFLEUR, P.-E. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- LANDRY, J. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- LEBEL, J. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- LEGENDRE, L. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- LEGGETT, W. C. Department of Biology, GIROQ, McGill University, Montreal.
- LEONARD, J. D. Bedford Institut of Oceanography, Atlantic Ocean. Laboratory, P. O. Box 1006, Dartmouth, Nova Scotia.
- LEVESQUE, L. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- LLAMAS, J. Université Laval, Pavillon Pouliot, CENTREAU, Ste-Foy, Québec. G1K 7P4
- LORING, D. H. Département des Pêches, et de l'Environnement, Laboratoire d'Écologie Marine, Institut de Bedford, Dartmouth, N. S. B2Y 4A2

- MARSOT, P. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- MARTY, J.C. Laboratoire de Physique et Chimie Marines, Université P. et M. Curie T 24. 4 Place Jussieu 75230 Paris Cedex 05, France.
- MASSAD, R. Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal.
- MESSIEH, S.N. Pêches et Environnement Canada, Station biologique, St. Andrews, N.B.
- MORISSETTE, M. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- MUIR, L.R. Ocean & Aquatic Sciences, P.O. Box 5050, Burlington, Ontario.
- MURTY, T.S. Institute of Ocean Sciences, Department FE, P.O. Box 6000, 9860 West Assnich Road, Sidney, B.C. V8L 3S2
- NASR, J. Marine Environmental Data Service, Oceanography Branch, Department of the Environment, 580, Booth Street, Ottawa, Ontario.
- NOËL, R. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- OUELLET, G. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- OUELLET, Y. Département de Génie civil, CENTREAU, Pavillon Pouliot, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- PELLETIER, E. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- PIUZE, J. Environnement Canada, Pêches et Sciences de la Mer, Case Postale 15500, 901, Cap Diamant, Gare Maritime Champlain, Québec. G1K 7X7
- POCKLINGTON, R. Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- POISSON, A. Laboratoire d'Océanographie physique, Université de Paris VI, Paris, France.
- POULET, S.A. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- REID, S.J. New Zealand Meteo Service, Wellington, New Zealand.
- RISI, J. 1110, Ploermel, Québec. G1S 3R9
- ROBERT, G. Fisheries Service, P.O. Box 550, Halifax, N.S. B3J 2S7
- ROY, B. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- SAMEOTO, D.D. Marine Ecology Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- SAVARD, J.-P. Marine Sciences Center, GIROQ, McGill University, Montreal.
- SERODES, J.-B. Direction Eaux Intérieures, Environnement Canada, Case Postale 10100, Ste-Foy, Québec.
- SEVIGNY, J.-M. Projet CPR/Maroc, 8, Mellouyah, AGDAL, Rabat, Maroc.
- SIEBERT, G. Coastal Oceanography, Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, P.O. Box 1006, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- SILVERBERG, N. Département d'Océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- SINCLAIR, M. Marine Fish Division, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- SITA DEVI, J. Université de Moncton, Moncton, N.B.
- SMITH J.N. Atlantic Oceanographic Laboratory, Chemical Oceanography Division, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- STRAIN, P.M. Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- SUBBARAO, D.V. Marine Ecology Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- SUNDBY, B. Département d'océanographie, Université du Québec, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- TAN, F.C. Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- TANG, C.L. Coastal Oceanography, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- TREMBLAY, R. INRS-Océanologie, 310, des Ursulines, Rimouski. G5L 3A1
- TRUMP, C. Département de Biologie, GIROQ, Université Laval, Québec. G1K 7P4
- WALTON, A. Atlantic Oceanography Laboratory, Chemical Oceanography Division, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2
- YEAT, P.A. Atlantic Oceanography Laboratory, Chemical Oceanography Division, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Janvier-février 1979

Numéro 1

AVANT-PROPOS

L'estuaire du Saint-Laurent correspond à la partie aval d'un gigantesque organisme fluvial drainant un territoire d'environ 1 320 000 km² (fig. 1). Cette étendue représente 6% du continent nord-américain. À lui seul, le Saint-Laurent apporte à la mer plus de 1% de l'eau de ruissellement de la surface terrestre. Toutefois, en raison de la forte sédimentation qui s'effectue dans les Grands-Lacs, il est l'un des grands cours d'eau au monde qui charrie les plus basses quantités de sédiments. Son importance environnementale et économique est considérable puisque les effets de l'écoulement des eaux douces du Saint-Laurent peuvent être décelés jusque dans les eaux au large de la Nouvelle-Angleterre et que ces apports d'eau jouent un rôle fondamental pour les pêches du Golfe qui représentent un peu plus de 40% de la valeur totale des prises au Canada.

En avril 1978, près de 200 spécialistes se sont rencontrés à Rimouski et ont pu participer à plusieurs ateliers et entendre quelque cinquante-cinq communications sur différents aspects de l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent. Considérant l'état de nos connaissances et le petit nombre de spécialistes œuvrant en océanographie dans cette région, on a pu croire prématurée la tenue d'un symposium sur ce vaste bassin. L'intérêt suscité par cette réunion scientifique indique au contraire la pertinence d'avoir organisé une telle rencontre. *Le Naturaliste canadien* publie ci-dessous les Actes de ce symposium. En guise d'introduction nous aimerions souligner certains problèmes qui y furent discutés.

Dans les secteurs du chenal estuarien suffisamment larges pour subir l'influence de la rotation de la terre (effet Coriolis), un écoulement latéral peut se superposer à l'écoulement longitudinal donnant lieu à un courant circulaire. Ces courants peuvent affecter considérablement les processus de sédimentation, de mélange et la dispersion des polluants. Compte tenu des observations présentées au symposium, l'estuaire du Saint-Laurent serait caractérisé par de forts courants transversaux (fig. 2). Or, comme la composante latérale d'un écoulement est environ un dixième ou moins de la composante longitudinale, les mesures précises demeurent difficiles. D'ailleurs, les mécanismes impliqués dans ce mouvement latéral demeurent incompris. De plus, la turbulence, très importante dans le transport et la sédimentation du matériel particulaire en suspension, se révèle un processus hydrodynamique encore plus difficile à étudier et qui, jusqu'à maintenant, a retenu l'attention de peu de chercheurs.

Les neuf premiers articles de ce volume traitent de différents aspects physiques de l'estuaire du Saint-Laurent. Ils peuvent donner une fausse impression de l'abondance des connaissances relatives à l'Estuaire. En dépit d'un effort considérable de recherche depuis les travaux pionniers de la Station biologique de Trois-Pistoles dans les années '30, nous ne possédons pas encore les données physiques fondamentales suffisantes pour bien comprendre dans leur ensemble les mécanismes estuariens. Il ressort clairement des travaux présentés que les études sectorielles et spécifiques faites jusqu'à maintenant doivent faire place à des études globales et pluridisciplinaires. Les données sur les variations à court terme des propriétés physiques n'existent que pour des secteurs restreints et pour de courtes périodes. Pour décrire ce type de variabilité, il faudrait disposer de plus abondantes observations étalées dans le temps et dans l'espace. De plus, les mesures directes de courant n'ont été faites que dans une petite partie de l'Estuaire; elles proviennent de stations dispersées ou encore de stations situées le long de sections transversales. Il serait essentiel d'obtenir d'abondantes mesures simultanées dans diverses parties de l'Estuaire durant de longues périodes. Des expériences en nature bien planifiées et combinées à l'utilisation de modèles mathématiques adéquats permettraient une meilleure compréhension des mécanismes à la base de la circulation. En résumé, une étude quantitative de la dynamique de l'estuaire du Saint-Laurent paraît indispensable.

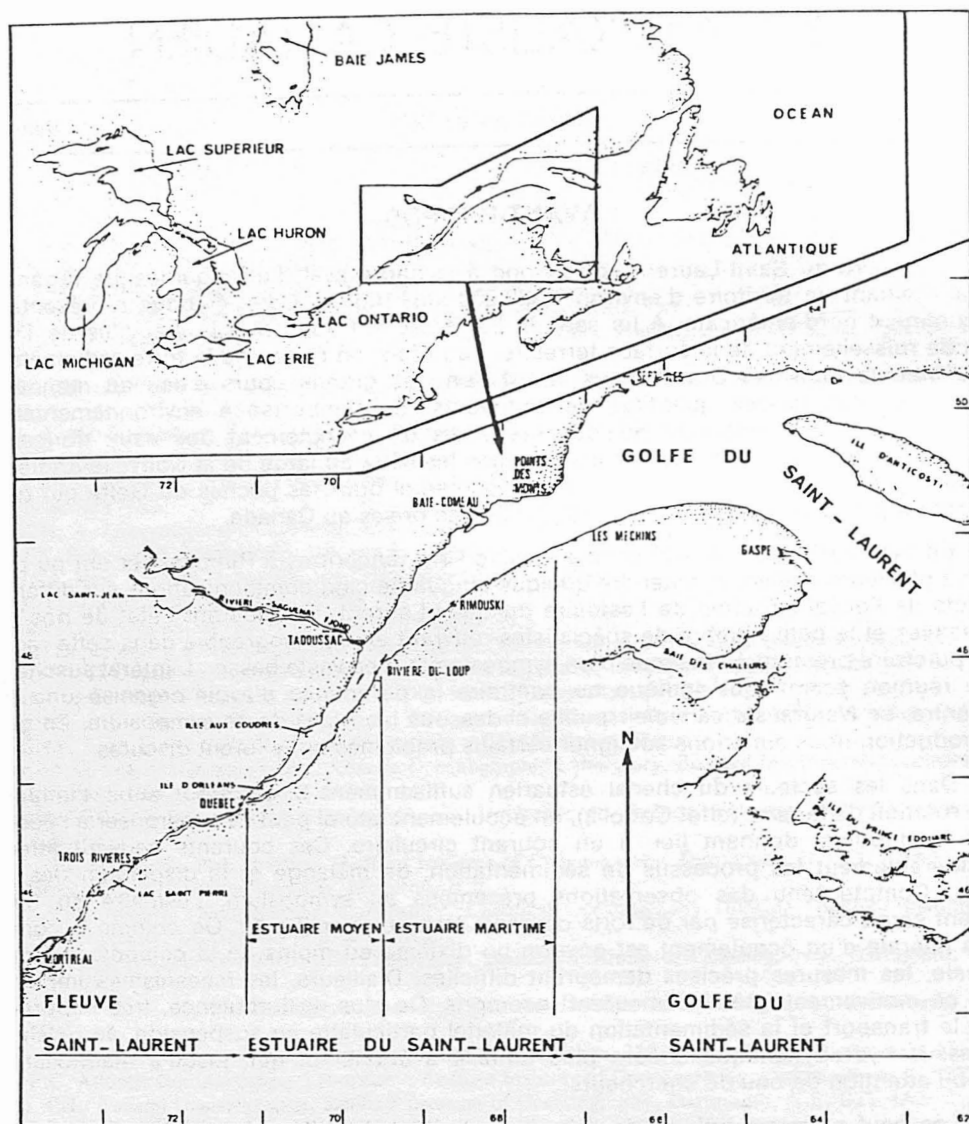


Figure 1. L'estuaire du Saint-Laurent.

L'historique de la chimie marine dans l'estuaire du Saint-Laurent est fort brève. Comme pour la plupart des grands estuaires dans le monde, on a négligé jusqu'à ces dernières années l'étude des interactions chimiques dans ces milieux alors qu'on leur accordait davantage d'attention dans les bassins océaniques. Présentement, on peut affirmer que nos connaissances sur la chimie des eaux et des sédiments de l'estuaire du Saint-Laurent permettent une meilleure compréhension de la répartition et du comportement de plusieurs substances chimiques. Ceci est particulièrement exact pour les métaux en trace qui ont fait l'objet d'une étude relativement poussée. Heureusement, les nombreux travaux relatifs à l'océanographie physique qui ont été faits jusqu'à maintenant constituent un cadre de référence indispensable pour l'étude chimique des eaux et des sédiments. Il convient de souligner que, dans la douzaine de communications consacrées à la géochimie de l'estuaire présentées au symposium de Rimouski, le principal sujet d'intérêt a été l'application des mesures chimiques à la compréhension des processus de transport et de distribution des sédiments dans l'Estuaire et dans le Saguenay. L'étude de la distribution des éléments nutritifs dans le Golfe et l'Estuaire a toujours été reliée de près aux travaux

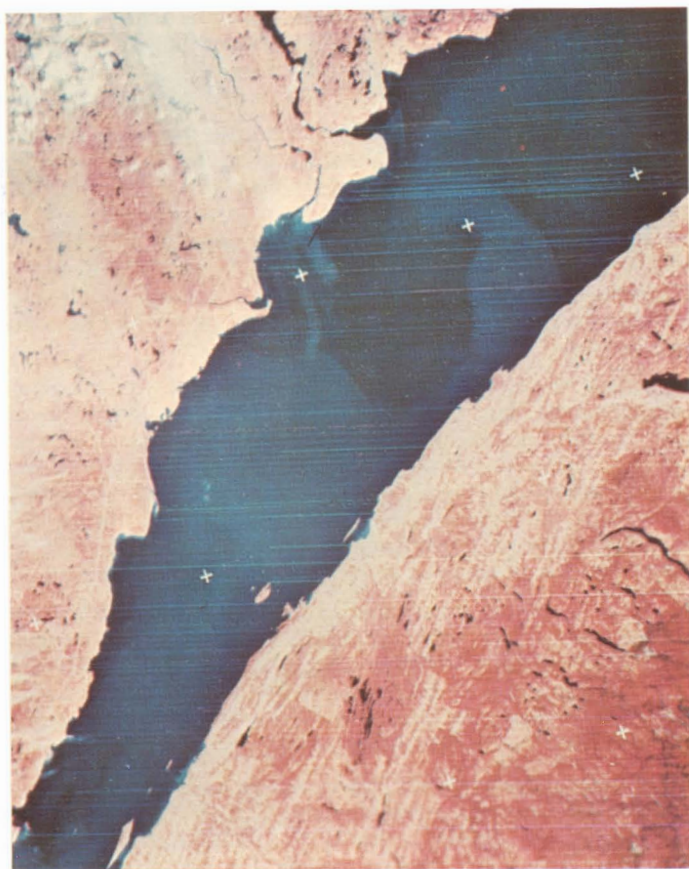


Figure 2. Photo satellite d'ERTS pour l'estuaire maritime du Saint-Laurent.

biologiques, comme on le mentionne plus loin. L'influence des remontées d'eau profonde dans l'Estuaire et leur apport d'éléments nutritifs à la surface ont intéressé les océanographes physiciens et biologistes plutôt que les chimistes. On devrait toutefois accorder plus d'attention à la chimie physique et à la distribution et au comportement des composés organiques d'origine terrigène et marine. Il serait particulièrement intéressant de réaliser une étude sur les rapports entre les constituants organiques et inorganiques. Il sera cependant nécessaire d'obtenir au préalable une meilleure compréhension du rôle joué par la dynamique des sédiments estuariens en regard de la distribution des composés chimiques.

Si, à petite échelle, le contexte géologique de l'estuaire du Saint-Laurent apparaît relativement bien connu dans ses grandes lignes, à grande échelle, il existe de nombreuses lacunes sur la plupart des aspects. On connaît encore mal la nature, la structure et la répartition des roches consolidées composant le bassin et il demeure difficile d'expliquer l'origine de cette vaste dépression entaillant la marge orientale du continent nord-américain.

À l'instar des assises rocheuses du bassin et de ses bordures, les formations meubles, malgré leur vif intérêt, demeurent peu étudiées dans le détail. Une connaissance adéquate de la nature, de l'épaisseur, de la composition et de l'origine du matériel du fond, des bordures et des rives paraît indispensable. La morphologie du fond demeure aussi une grande inconnue. On ne dispose pas encore de série de cartes bathymétriques détaillées du bassin estuarien et de rares chercheurs ont tenté jusqu'à maintenant d'expliquer les principaux éléments des reliefs submergés. La description et l'explication des principales formes sous-marines de l'Estuaire n'a pas retenu l'attention des océanographes réunis à Rimouski en avril dernier.

Nos connaissances se sont sensiblement enrichies depuis une dizaine d'années dans le domaine de la sédimentologie, en particulier dans le moyen estuaire. Plusieurs études sont en cours qui tendent de préciser les modes de transport et de déplacement des sédiments fins vers le Golfe et l'Atlantique. Le sujet se révèle extrêmement épineux et reflète la grande complexité du moyen estuaire (fig. 3), zone de forte turbidité où interviennent plusieurs facteurs dynamiques (marées, courants, houles, ondes particulières et glaces flottantes). D'excellentes contributions dans ce domaine ont été présentées au symposium de Rimouski. Les problèmes à résoudre demeurent nombreux.

La question de la turbidité maximale a retenu l'attention de nombreux spécialistes. C'est un sujet complexe de haute importance qu'il faudra fouiller davantage pour parvenir à définir d'une façon satisfaisante les divers mécanismes responsables de cette forte turbidité. Certains ont suggéré que le déferlement des ondes internes (*breaking of internal waves*) serait un facteur important à l'origine de la majeure partie de la turbidité dans le moyen estuaire. Il reste maintenant à en faire la démonstration.

La sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent est liée à l'érosion et au transport, phénomènes auxquels il faudra accorder davantage d'attention au cours des prochaines années. Bref, la nécessité de définir le contexte géologique du Saint-Laurent estuarien devrait paraître évidente à tous les océanographes. On ne saurait étudier le contenu sans connaître aussi le contenant.

Les cinq articles en océanographie biologique publiés dans ce volume ne sauraient traduire à eux seuls les résultats obtenus au cours des années récentes. Il convient donc d'énumérer certains autres sujets abordés au symposium ou ayant fait l'objet de publications ailleurs: la production primaire dans le Saguenay et dans l'Estuaire; la structure des communautés benthiques animales et les facteurs de distribution et d'abondance du benthos littoral; la variabilité temporelle estuarienne des paramètres physiques, chimiques et biologiques; la biologie larvaire, la reproduction, la croissance, l'alimentation et les migrations des poissons pélagiques, notamment du capelan; enfin des questions d'intérêt pratique plus immédiat, telle que l'évaluation de la contamination des organismes marins.

La rencontre d'avril 1978 a permis de colliger et consolider les observations et de mettre en évidence certains aspects fondamentaux pour le développement de la recherche en océanographie biologique et en écologie marine dans l'Estuaire. Par exemple, il apparaît important d'examiner l'influence des variations géographiques et saisonnières de la matière en suspension sur la faune littorale et sur la faune suprabenthique et endobenthique profonde, ainsi que les relations entre certaines populations de poissons et celles des



Figure 3. Photo satellite d'ERTS pour l'estuaire moyen du Saint-Laurent. À remarquer les zones de turbidité (bleu pâle).

invertébrés pélagiques ou benthiques dont ils se nourrissent. Il faudrait aussi examiner plus en détail le rôle de la glace et des températures élevées sur la dynamique des peuplements littoraux, ainsi que les transferts de matières polluantes dans la chaîne trophique. Paradoxalement, alors que les dernières années auront permis d'obtenir une couverture très étendue de la variabilité spatiale et temporelle à très court et à moyen terme de nombreux paramètres chimiques, physiques et biologiques, nos connaissances de la variabilité à plus long terme demeurent trop limitées. En outre, très peu d'observations ont été effectuées en dehors de la période estivale. Bien que nous disposions de données pour les mois de juin, juillet, août et septembre, les huit autres mois demeurent à peu près sans observations. L'exploration et l'étude de l'Estuaire au cours de la saison froide (octobre-mai) paraissent nécessaires à la compréhension des mécanismes qui contrôlent les processus biologiques dans l'Estuaire.

La majorité des travaux présentés au symposium de Rimouski ont été conçus dans une optique unidisciplinaire. Ce n'est peut-être pas surprenant si l'on considère le petit nombre d'études effectuées dans la région et nos connaissances sommaires des processus spécifiques dans chacune des principales disciplines concernées. Bien qu'il faille souhaiter que les spécialistes poursuivent d'une part des études sectorielles très avancées, une approche pluridisciplinaire s'impose d'autre part pour une meilleure compréhension des phénomènes complexes qui caractérisent le Saint-Laurent.

Un résultat pratique tangible du symposium de Rimouski et des ateliers de travail a été la prise de conscience, chez les spécialistes des diverses disciplines, de l'utilité d'un travail pluridisciplinaire pour pouvoir résoudre les problèmes complexes de l'estuaire du Saint-Laurent. Le symposium de Rimouski montre avec pertinence la voie à suivre. Le défi estuarien doit être relevé.

Remerciements

Nos remerciements les plus sincères s'adressent d'abord à MM. A. Collin, sous-ministre adjoint au Ministère canadien des Pêches et de l'Environnement, et Alcide Horth, ex-recteur de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), pour leur support moral et leur encouragement. Nous remercions aussi M. Pascal Parent, recteur de l'UQAR, qui a prononcé l'allocution d'ouverture, et Madame Denise Leblanc, adjointe parlementaire au Ministre de l'industrie et du commerce du Québec. Les personnes dont les noms suivent ont pris une part active à l'organisation du symposium: MM. Julien Bergeron, Georges Drapeau, R. Grant Ingram, Jean Lebel, T.S. Murty, Ghislain Paradis, Jean-Claude Therriault, R.W. Trites et Mesdames Marie Cogné, Éline Goulet, Thérèse Lecomte et Jocelyne Marmen. Cette dernière a, en outre, collaboré à l'édition de ce volume. Il convient aussi de remercier monsieur Joseph Risi, un pionnier dans les recherches océanographiques au Québec, qui, dans son discours fort apprécié au banquet de clôture, a tracé les grandes lignes de «*La petite histoire des recherches océanographiques effectuées dans l'Estuaire par l'Université Laval dans les années '30*». Enfin, ce symposium a bénéficié largement de l'aide financière des organismes suivants: Université du Québec à Rimouski, Ministère de l'industrie et du commerce du Québec, Ministère canadien des pêches et de l'environnement, Conseil national de la recherche du Canada. La publication par *Le Naturaliste canadien* d'une partie des actes du symposium a été rendue possible grâce à une subvention spéciale de l'Université du Québec à Rimouski.

Le Comité d'édition du Symposium,

M.I. EL-SABH
E. BOURGET
J.M. BEWERS
J.-C. DIONNE

Rimouski, décembre 1978.

LA CIRCULATION HYDRODYNAMIQUE DANS LA ZONE DE MÉLANGE ESTUARIENNE DU SAINT-LAURENT

Yvon OUELLET

*Département de génie civil, Faculté des sciences et de génie
Université Laval, Québec G1K 7P4*

et

Clifford TRUMP

*GIROQ, Département de biologie, Faculté des sciences et de génie
Université Laval, Québec G1K 7P4*

Résumé

La circulation hydrodynamique et la distribution de la température et de la salinité constituent des données de base qu'il est nécessaires de connaître pour la description des phénomènes connexes de sédimentation et de la qualité de l'eau. Le présent article présente une description générale de la circulation hydrodynamique et de l'évolution des paramètres physico-chimiques à l'aide des données recueillies au cours des dernières années par le Ministère des transports du Canada, par CENTREAU et le GIROQ dans le cadre de leur programme de recherches dans la zone de mélange des eaux douces et des eaux salées dans l'estuaire moyen et principalement dans la région comprise entre l'île aux Coudres et l'île d'Orléans. Pour cette description, la circulation résiduelle s'avère un paramètre qui joue un rôle important en ce sens qu'il présente l'avantage d'expliquer la circulation estuarienne en des termes désolidarisés de l'effet des marées. Dans ce contexte, il s'est avéré que des enregistrements plus longs (1 à 6 mois) avec une fréquence d'échantillonnage plutôt faible (12 à 2 cycles/heure) apportaient plus d'information pour l'étude de la circulation que des enregistrements plus courts (2 jours) avec une fréquence relativement élevée (120 cycles/heure). L'analyse spectrale d'enregistrements types montre que l'énergie du signal est principalement contenue dans les basses fréquences et qu'il n'y a pratiquement pas de recouvrement de l'énergie (aliasing) au-delà de 2 cycles/heure.

Abstract

Sedimentation in the mixing zone of the St. Lawrence Estuary is dependent on the circulation and on the distribution of salinity and temperature as function of time. Also it is well known that the water quality is highly related to the sedimentation processes. For these reasons, a knowledge of the circulation and the variation of the salinity and temperature is desired. The instantaneous flow is affecting the short-term sediment processus, but the long-term distribution of sediments is mainly related to the residual circulation. A summary of the residual circulation in the mixing zone between Ile aux Coudres and Ile d'Orléans is first presented based on data collected before 1973. Then, a preliminary analysis of collected data at some sites after 1973, specially between 1975 and 1977, is given in the context of their usefulness in complementing the description of the circulation in the mixing zone. Spectral analysis of the most typical records appeared to give appropriate information on the variability of phenomena under study. One result is that high frequency energy, i.e. higher than 2 cycles/hour, is buried by low frequency energy.

Introduction

Le mélange des eaux douces et des eaux salées dans le Saint-Laurent a été, depuis la dernière décennie, l'objet d'études des plus intensives. Ceci est dû à l'importance que revêtent les phénomènes connexes tels que la

sédimentation et la qualité de l'eau. La circulation hydrodynamique est alors une donnée de base pour la description de l'évolution de ces autres phénomènes.

Pour décrire le mélange des eaux douces et des eaux salées, on a généralement re-

cours à des modèles mathématiques (Ouellet et Cerceau, 1976). La technologie actuelle est bien établie en ce qui concerne la description bi-dimensionnelle du phénomène, mais est toutefois encore limitée en ce qui regarde la tri-dimensionnalité. La détermination de l'évolution des phénomènes fait généralement appel à des méthodes numériques basées soit sur les différences finies, soit sur les éléments finis. La technologie actuelle est plus au point dans le premier cas que dans le second.

Le modèle hydrodynamique est basé sur les équations de mouvement et de continuité, qui, dans le cas bi-dimensionnel, sont intégrées sur la verticale. D'autre part, la simulation du processus de mélange est obtenue à partir de l'équation de dispersion-convection. Les deux modèles «hydrodynamique» et de «transport» sont complémentaires et sont alors intégrés dans un seul modèle pour leur opération.

Pour la description hydrodynamique du mélange des eaux, la circulation résiduelle est un paramètre qui joue un rôle important, spécialement en ce qui concerne l'évolution à long terme des sédiments. En effet, les zones de sédimentation, au droit de rencontre des eaux douces et salées, sont directement reliées à la circulation résiduelle, dont l'établissement nécessite toutefois la prise d'un grand nombre de données de courantométrie.

Sur la base d'une série de données préliminaires, des graphiques ont été obtenus, donnant la schématisation de l'écoulement résiduel en surface et au fond (Soucy, *et al.*, 1976). Toutefois les données sur lesquelles sont basés ces graphiques font que ces résultats ont une portée plus ou moins restreinte. Le but de la présente étude consiste plus particulièrement à compléter ces résultats préliminaires à l'aide des données additionnelles de courantométrie recueillies dans l'estuaire moyen au cours des trois dernières années. Ces programmes de mesures ont été réalisés dans le cadre du programme ÉCO-VARIATE du GIROQ avec la participation de CENTREAU de l'Université Laval. L'analyse statistique des données est effectuée sur l'analyseur de Fourier du département de génie civil de l'Université Laval. Les données prises par le Centre canadien des Eaux intérieures (Muir et Budgell, 1973 et 1974) constituent aussi une source de données intéressantes pour fins comparatives dans l'analyse des résultats.

Méthodologie de l'étude

La non-permanence des écoulements dans les estuaires rend difficile l'étude de la sédimentation à partir de l'analyse directe des courants dont on observe par ailleurs de grandes variations en fonction de la profondeur. Simmons (1966) a préconisé une méthode d'analyse de la circulation verticale en étudiant les variations de la vitesse sur un cycle de marée (fig. 1). À partir des superficies sous-tendues respectivement par le jusant (S_j) et par le flot (S_f), on peut déterminer une vitesse résiduelle

$$V_R = \frac{S_j - S_f}{T}$$

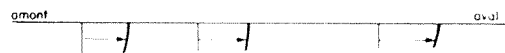
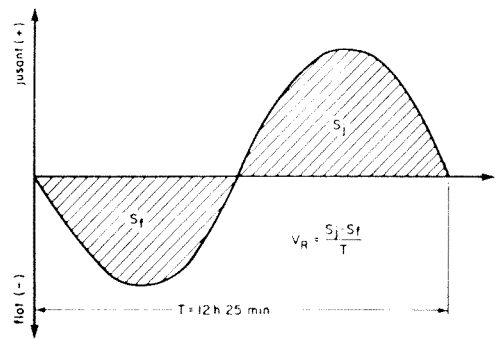


Figure 1. Calcul des vitesses résiduelles.

dans laquelle $S_j - S_f$ représente l'écoulement résiduel et T égale la période de la marée de 12h25, c'est-à-dire pour une marée de type semi-diurne. La vitesse résiduelle est positive si l'écoulement est dirigé vers l'aval, négative s'il est dirigé vers l'amont. La figure 2 montre une telle répartition schématisée des vitesses résiduelles dans un estuaire idéal.

La méthode précédente a été appliquée principalement aux données de courantométrie recueillies par le Ministère des transports du Canada (1971) qui présentent alors les données les plus complètes sur le sujet. La localisation des points de mesures traités est représentée à la figure 3. Les courants ont été mesurés à l'aide de courantomètres du type Plessy qui ne donnent que l'intensité du courant. La vitesse résiduelle a été calculée

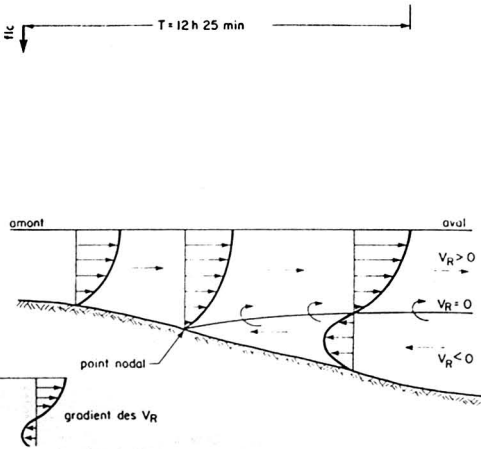


Figure 2. Répartition schématique des V_R dans un estuaire idéal.

à l'aide d'un planimétrage des surfaces. Des campagnes de mesures sporadiques ont été ultérieurement effectuées dans l'estuaire moyen par CENTREAU et GIROQ entre les années 1973 et 1977. La figure 4 montre la localisation des stations tandis qu'on retrouve dans le tableau I leurs coordonnées, ainsi que les périodes d'échantillonnage, l'intervalle de discrétisation, le nombre de points, la profondeur de l'instrument et l'orientation de la composante longitudinale U de la vitesse. Les stations qui présentent de l'intérêt pour le présent article sont indiquées à la figure 5; leurs données ont été recueillies entre 1975 et 1977. On peut noter avec intérêt la plus grande disponibilité de mesures dans la partie inférieure de l'estuaire moyen, c'est-à-dire en dehors de la région qui nous intéresse. Le tableau II donne les paramètres déduits des mesures aux stations indiquées. Les mesures de courantométrie ont été prises à l'aide de courantomètres Aanderaa de type RCM-4,

dont les schémas d'installation sont montrés sur la figure 6. Dans le but de pouvoir examiner l'influence des fréquences élevées sur la variabilité du phénomène, les données ont été prises avec un intervalle de temps très court, soit 30 secondes.

Résultats et discussion

Il existe trois façons principales de représenter l'évolution de la circulation résiduelle, c'est-à-dire verticalement, longitudinalement et transversalement. À l'aide d'une coupe horizontale, on peut observer, en regardant verticalement, l'évolution de la circulation résiduelle à différents niveaux de la profondeur d'eau. De façon similaire selon un axe donné, on peut visualiser l'évolution longitudinale de la circulation résiduelle sur une coupe verticale. Enfin la distribution de la circulation résiduelle peut être examinée sur une section transversale de l'écoulement.

Cette méthode de représentation a déjà été utilisée (Soucy, *et al.*, 1976) pour des données recueillies par le Ministère des transports du Canada (1971) dans le but de fournir une schématisation de l'écoulement résiduel. Un examen de ces résultats a alors permis de définir d'une façon plus ou moins grossière la circulation résiduelle dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. On a pu constater par exemple que, immédiatement en aval de l'île d'Orléans, l'écoulement résiduel est dirigé vers l'aval sur toute la profondeur. D'autre part, l'écoulement résiduel est beaucoup moins bien défini au niveau de l'île aux Coudres. Le chenal nord et le chenal Beaujeu se distinguent par une avancée préférentielle de la sous-couche à vitesse résiduelle amont; toutefois, le schéma de l'écoulement résiduel dans le chenal Beaujeu, à cause de sa topographie plus ré-

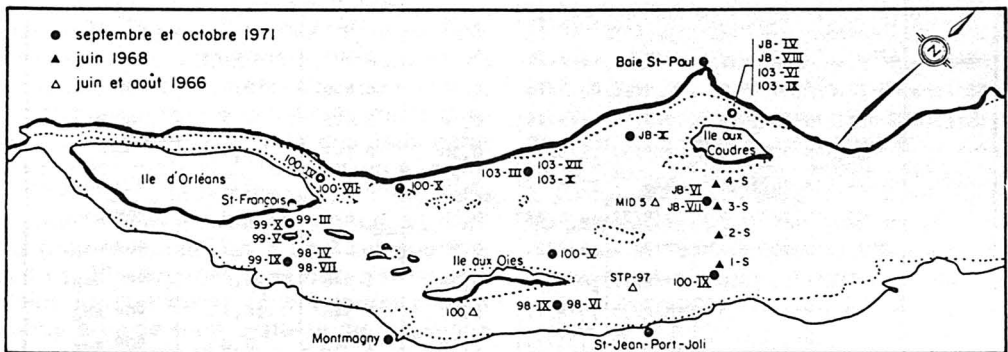


Figure 3. Localisation des points de mesure.

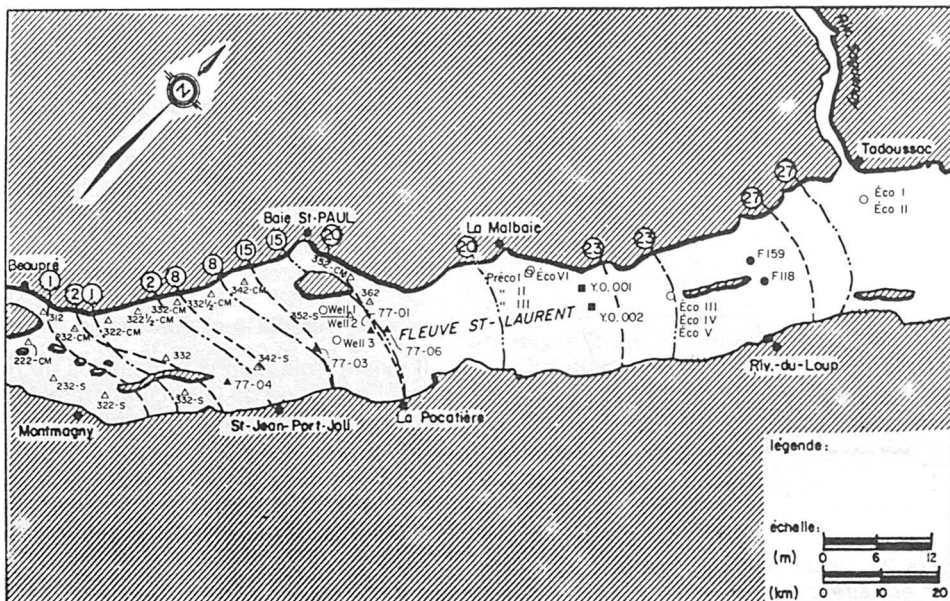


Figure 4. Localisation des stations de mesure.

TABLEAU I
Caractéristiques principales des données de courantométrie.

Station no	Localisation		Période d'enregistrement		Intervalle de temps Δt (min)	Nombre de points N	Pér. de l'instrument m	Composante longitudinale de la vitesse
	Lat.	Long.	Début	Fin				
1206/5	47°39,0'N	70°04,0'O	12/6/75	19/6/75	2,00	4 846	2,0	50° mag.
742/12	47°39,0'N	70°04,0'O	12/6/75	13/6/75	2,00	1 219	6,0	50° mag.
1206/11	47°39,0'N	70°04,0'O	05/7/75	11/7/75	2,00	4 557	2,0	50° mag.
742/13	47°39,0'N	70°04,0'O	05/7/75	11/7/75	2,00	0	6,0	50° mag.
1206/15	47°39,0'N	70°04,0'O	31/7/75	06/8/75	1,25	8 567	2,0	50° mag.
740/12	47°39,0'N	70°04,0'O	01/8/75	05/8/75	1,25	5 971	9,0	50° mag.
742/15	48° 8,9'N	69°36,2'O	22/5/76	27/5/76	1,25	2 349	5,0	57° mag.
740/15	48° 8,9'N	69°36,2'O	10/6/76	17/6/76	1,25	7 722	8,0	57° mag.
742/17	47°48,7'N	69°47,1'O	09/7/76	14/7/76	1,25	4 951	8,0	50° mag.
740/16	47°48,7'N	69°47,1'O	09/7/76	16/7/76	1,25	7 617	8,0	50° mag.
1206/27	47°48,7'N	69°47,1'O	02/8/76	03/8/76	1,25	2 093	1,0	50° mag.
742/18	47°48,7'N	69°47,1'O	03/8/76	10/8/76	1,25	7 799	1,0	50° mag.
742/18	47°48,7'N	69°47,1'O	09/8/76	10/8/76	1,25	672	1,0	50° mag.
742/18	47°39,0'N	70°04,0'O	10/8/76	10/8/76	1,25	622	1,0	50° mag.
WELL - 1	47°22,1'N	70°20,0'O	10/9/76	17/9/76	0,50	1 808	profilage	60° mag.
WELL - 2	47°22,1'N	70°20,0'O	07/9/76	09/9/76	0,50	6 486	0,5	60° mag.
WELL - 3	47°20,2'N	70°16,2'O	10/9/76	11/9/76	0,50	3 075	0,5	60° mag.
77-01	47°24,5'N	70°12,5'O	08/8/77	11/8/77	0,50	8 141	15,0	---
77-01	47°24,5'N	70°12,5'O	08/8/77	11/8/77	0,50	8 141	25,0	90° mag.
77-06	47°25,5'N	70°09,5'O	09/8/77	10/8/77	0,50	674	2,0	90° mag.
77-06	47°25,5'N	70°09,5'O	09/8/77	10/8/77	0,50	674	8,5	90° mag.
77-03	47°18,0'N	70°18,0'O	10/8/77	10/8/77	0,50	1 546	2,5	90° mag.
77-03	47°18,0'N	70°18,0'O	10/8/77	10/8/77	0,50	1 546	10,5	90° mag.
77-04	47°11,0'N	70°21,7'O	10/8/77	11/8/77	0,50	1 348	1,0	90° mag.
77-04	47°11,0'N	70°21,7'O	10/8/77	11/8/77	0,50	1 348	9,0	90° mag.

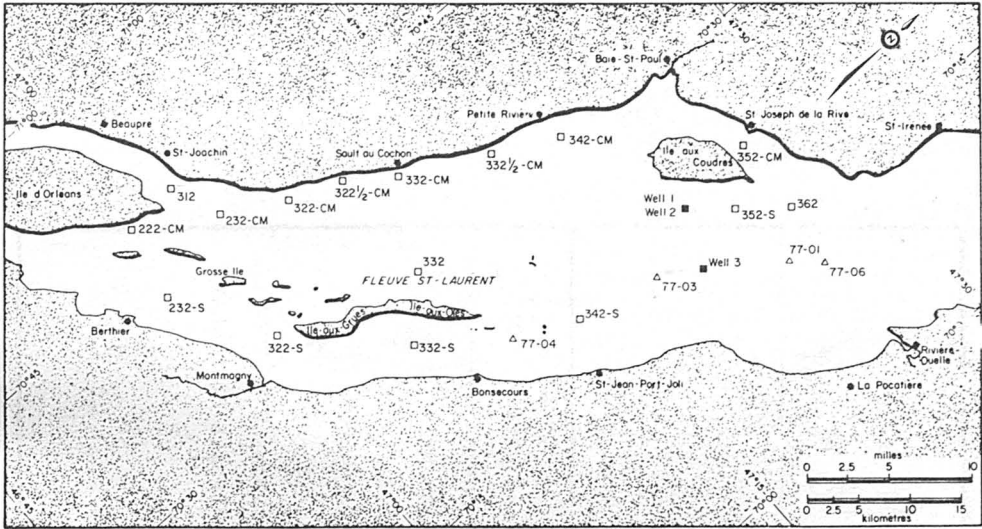


Figure 5. Localisation des stations de mesure.

gulière, se rapproche plus de l'évolution idéale de la figure 2 que celui dans le chenal nord. Il en résulte ainsi une plus grande stabilité du point nodal.

Certains facteurs contribuent à limiter la portée de ces résultats. Qu'il s'agisse de mentionner les données de courant elles-mêmes dont on n'a mesuré que l'intensité et non la direction, l'inégalité journalière des marées, qui a une influence sur l'intervalle de temps pour le calcul de la vitesse résiduelle, le fait que les mesures soient prises à partir de la surface c'est-à-dire à une profondeur variable au cours du cycle de marée. Pour ces raisons, il s'est avéré important de pouvoir améliorer la qualité de ces données par la prise de mesures qui tiennent compte du vecteur vitesse.

Les figures 7 à 14 montrent un exemple représentatif des données recueillies lors de ces campagnes de mesures à l'aide de courantomètres Aanderaa. Ces figures présentent respectivement les diagrammes horaires de la vitesse (intensité et direction), de la température, de la salinité, de la densité sigma-T calculée à partir des deux paramètres précédents et de la pression à la station 77-01. Dans le but d'analyser l'influence des phénomènes à haute fréquence, les données ont été recueillies à un intervalle très court de 30 secondes. Les enregistrements de plus longue durée (2 à 4 jours) étaient obtenus à l'aide d'un système de mouillage ancré sur le fond (fig. 6a), tandis que pour les enregistrements de plus courte durée

(13 heures) la courantométrie était effectuée à bord d'un navire ancré (fig. 6b).

À cause de leur disparité et de leur courte durée pour la plupart, les enregistrements n'ont pas encore été l'objet d'une analyse d'ensemble en vue de la description de la circulation hydrodynamique dans l'estuaire moyen, mais ont plutôt été examinés individuellement. Nous présentons à titre d'exemple les enregistrements de plus longue durée (près de 68 heures) pris à la station 77-01 à une profondeur d'eau de 25 mètres (figs 7 à 14). À cause de l'oscillation de l'appareil avec la force du courant, nous avons ajouté sur le graphique de la profondeur, le graphique de la hauteur de la marée déduite à partir des tables de marées (Environnement Canada, 1973 à 1977).

Il est intéressant de remarquer d'abord le déphasage entre la température de l'eau et la salinité, ce qui indique l'alternance de l'eau douce, plus chaude, et de l'eau salée plus froide, avec la marée. La direction du courant est principalement suivant l'axe de l'estuaire (40°p/r au nord) avec un renversement à chaque marée semi-diurne. Il est toutefois intéressant de noter que lors du passage du jusant au flux, il y a, pendant une courte période d'environ une heure, un écoulement transversal vers le nord-ouest, auquel correspond le maximum de température ou le minimum de salinité. L'eau plus chaude est alors transportée de la rive sud vers la rive nord durant cette période.

TABLEAU II
Paramètres mesurés aux stations.

STATION	DATE	EVOLUTION DE LA SALINITE SALINITES INSTANTANEEES TEMPERATURE INSTANTANEEES HAUTEUR DE LA MAREE INTENSITE DU COURANT DIRECTION DU COURANT COMPOSANTE LONGITUDINALE DU COURANT COMPOSANTE TRANSVERSALE DU COURANT TEMPERATURE SALINITE SIGMA-T
F.159	8/11/73	. . . . .
F.118	10/11/73	. . . . .
F.159	31/07/73	. . . . .
332.S	31/07/73	. . . . .
332.S	8/11/73	. . . . .
322.CM	10/11/73	. . . . .
YO.001	4/06/74	. . . . .
YO.002	5/06/74	. . . . .
PRECO I	12/06/75	. . . . .
PRECO II	5/06/75	. . . . .
PRECO III	31/07/75	. . . . .
ECO I	22/05/76	. . . . .
ECO II	10/06/76	. . . . .
ECO III	9/07/76	. . . . .
ECO IV	2/08/76	. . . . .
ECO V	9/08/76	. . . . .
ECO VI	10/08/76	. . . . .
WELL I	10/09/76	. . . . .
WELL II	7/09/76	. . . . .
WELL III	10/09/76	. . . . .
77-01	8/08/77	. . . . .
77-06	9/08/77	. . . . .
77-03	10/08/77	. . . . .
77-04	10/08/77	. . . . .

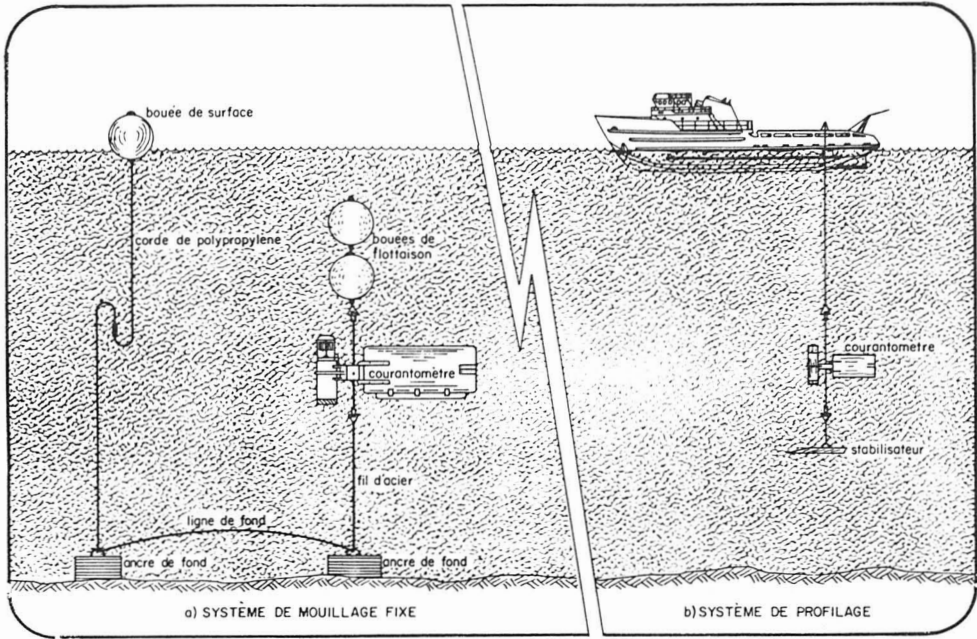


Figure 6. Systèmes de mesures de courantométrie.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT..... 15: 00. 0 8-AOUT-77
 FIN..... 10: 50. 0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50. MIN.
 D..... 25. METRE (S).

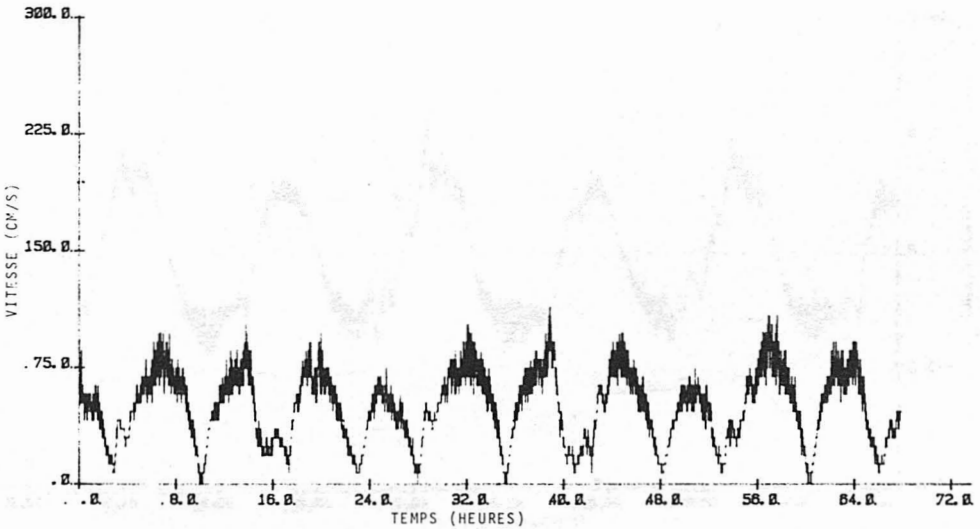


Figure 7. Vitesse du courant.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT..... 15:00.0 8-AOUT-77
 FIN..... 10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50 MIN.
 D..... 25. METRE (S).

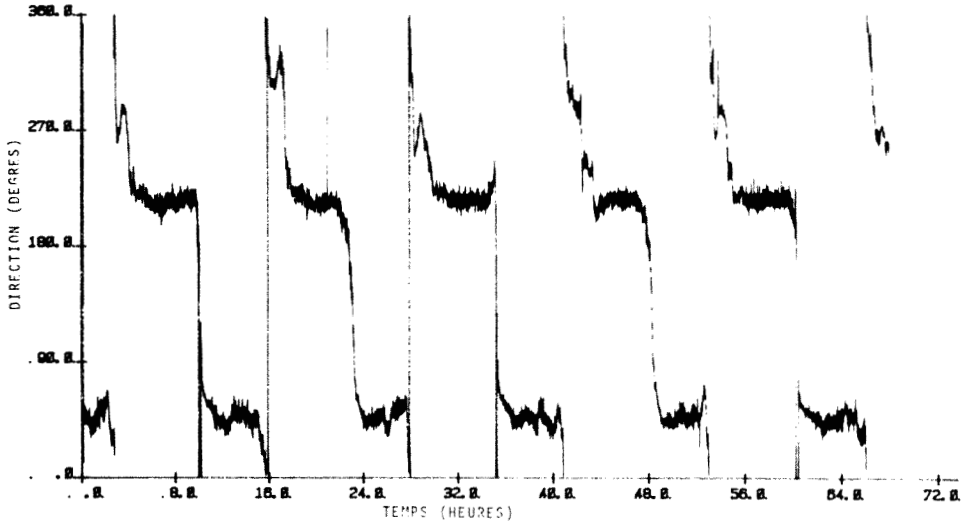


Figure 8. Direction du courant.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT..... 15:00.0 8-AOUT-77
 FIN..... 10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50 MIN.
 D..... 25. METRE (S).

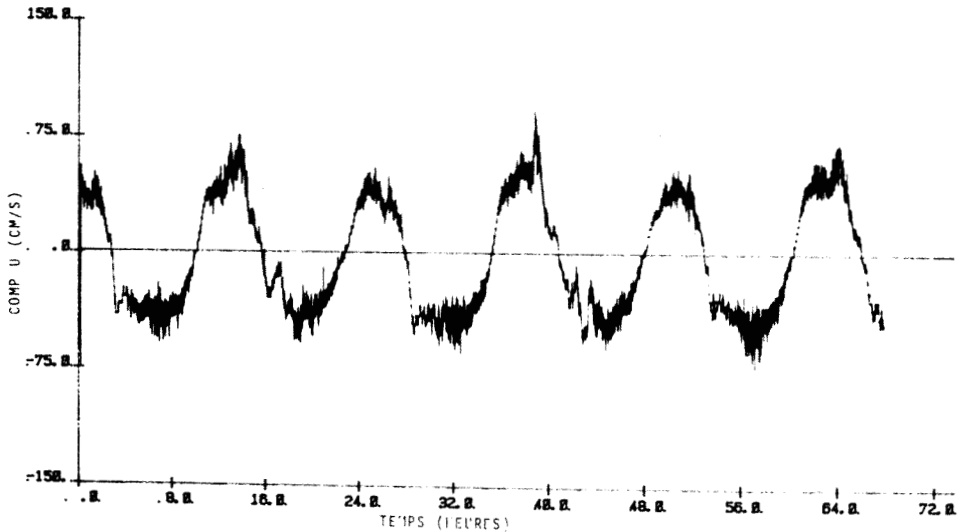


Figure 9. Composante U du courant.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT.....15:00.0 8-AOUT-77
 FIN.....10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50 MIN.
 D..... 25. METRE (S).

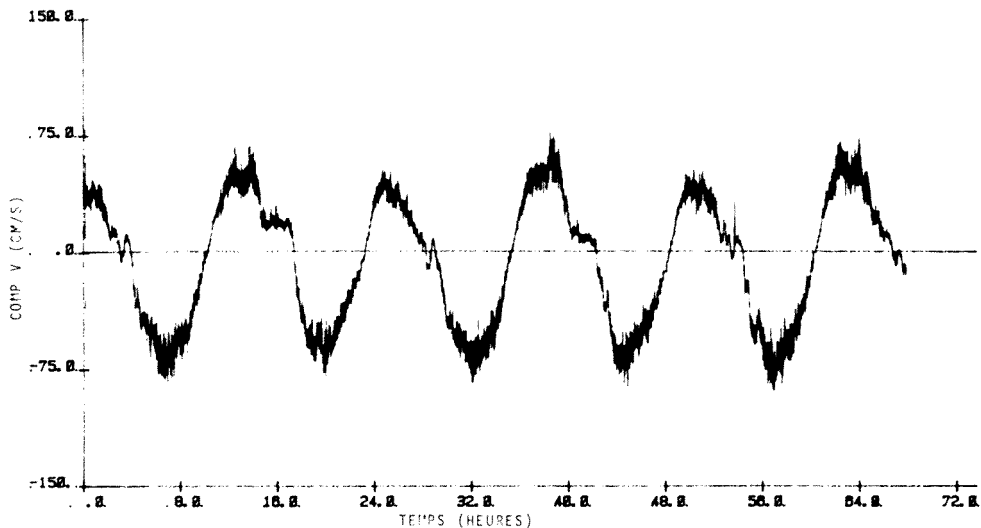


Figure 10. Composante V du courant.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT.....15:00.0 8-AOUT-77
 FIN.....10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50 MIN.
 D..... 25. METRE (S).

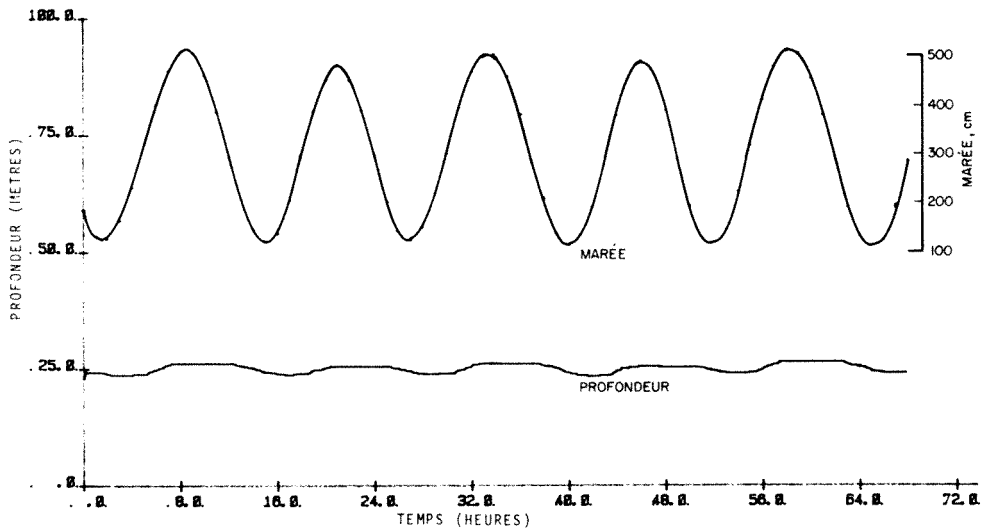


Figure 11. Profondeur d'eau.

Un examen de l'enregistrement de la station 77-03, à une profondeur de seulement 2,5 mètres, montre que le jusant est un peu plus orienté vers le nord (20° p/r au nord magnétique) et qu'il est accompagné de deux variations importantes de la température et de la salinité. Durant le flot, le gradient de température décroît puis croît, tandis que la salinité croît puis demeure constante; ceci indique qu'un changement de température n'est pas nécessairement accompagné d'un changement de salinité, d'où la très grande variabilité des phénomènes en cause.

Un examen semblable de l'enregistrement à la station WELL-2 met en évidence une grande variabilité des phénomènes et la présence de bruit plus intense durant le flux que durant le jusant. De façon similaire, comme le montrent les enregistrements de la station 77-04, la variabilité des paramètres physico-chimiques est plus grande au voisinage des vitesses nulles, ce qui est une indication de la non-stationnarité des phénomènes. Nous croyons que ces phénomènes ont pour cause l'importance relativement plus grande de l'activité des ondes internes au voisinage des vitesses nulles.

Les graphiques de la figure 15 représentent des spectres de l'enregistrement de la vitesse, montré à la figure précédente, calculés pour trois différentes longueurs de l'enregistrement, soient 8 192, 4 096 et 2 048 points. Lorsque le nombre de points est inférieur à 8 192, on fait la moyenne des n spectres, ce qui augmente d'autant le nombre de degrés de liberté de l'estimateur du spectre. On peut ainsi constater l'influence de la diminution de la longueur de l'enregistrement sur le coulage de l'énergie d'une fréquence donnée sur ses voisines. On remarque que l'énergie est surtout concentrée à la période fondamentale de l'enregistrement, soit 6,21 heures et à ses multiples. Nous avons délibérément enlevé la composante DC du signal. On note aussi que la grande majorité de l'énergie est distribuée dans les fréquences inférieures à 1 cycle/heure, ce qui veut dire qu'une fréquence d'échantillonnage de 2 cycles/heure ($\Delta t = 30$ minutes) fournit presque toute l'énergie du signal. Ceci nous amène donc à conclure que ce sont les enregistrements de durée plus longue, par exemple de 1 à 6 mois ($\Delta t = 5$ à 30 minutes) qui fournissent le plus d'information sur la circulation hydrodynamique dans la zone de mélange.

D'autre part, la détermination de la vitesse résiduelle des composantes principales de la marée à l'aide d'une moyenne pondérée sur un cycle de la marée semi-diurne montre que celle-ci varie continuellement d'une marée à l'autre. La figure 16 montre un tel exemple dont les calculs ont été effectués à partir des données courantométriques de la station 77-01, pour lesquelles la composante principale du courant a été orientée suivant l'axe de l'écoulement, c'est-à-dire suivant la direction sud-ouest nord-est. Bien que la composante de la vitesse résiduelle soit définitivement vers l'amont, près du fond, on peut observer la variabilité importante causée principalement par l'inégalité des marées semi-diurnes, facteur qu'on ne peut négliger. Pour fins de comparaison, on a aussi tracé (fig. 16c) la vitesse résiduelle à partir de l'intensité du courant montrée à la figure 7, en prenant la vitesse comme positive durant le jusant et négative durant le flot ce que l'on a déterminé à partir de la figure 8. Ceci avait pour but de simuler les conditions précédentes dans lesquelles la circulation résiduelle avait été évaluée à partir de données d'un instrument qui ne mesure que l'intensité du courant. On peut voir que la vitesse ainsi calculée se compare bien avec la composante U de la vitesse résiduelle. Toutefois il y a des moments où la vitesse résiduelle est dans la direction opposée et ce plus particulièrement pour la vitesse résiduelle totale. La figure 16d montre un calcul semblable au précédent, mais à mi-profondeur, c'est-à-dire à environ 15 m. À cette profondeur, la vitesse résiduelle est vers l'aval. Il est intéressant de comparer ces résultats avec ceux obtenus précédemment (Soucy *et al.*, 1976). Les autres enregistrements (à l'exception de Well-2), obtenus entre les années 1975-1977, ne sont pas suffisamment longs pour permettre d'effectuer un calcul similaire. En ce sens, ils ne présentent que peu d'utilité pour une étude de la circulation résiduelle.

Conclusion

Bien que les mécanismes de transport et de mise en suspension des sédiments soient reliés directement à l'écoulement instantané, nous nous sommes plutôt attardés à la description de la circulation résiduelle puisque c'est ce paramètre qui régit la distribution à long terme des sédiments, d'où résultent les aires de sédimentation et d'érosion.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT.....15:00.0 8-AOUT-77
 FIN.....10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50 MIN.
 D..... 25. METRE (S).

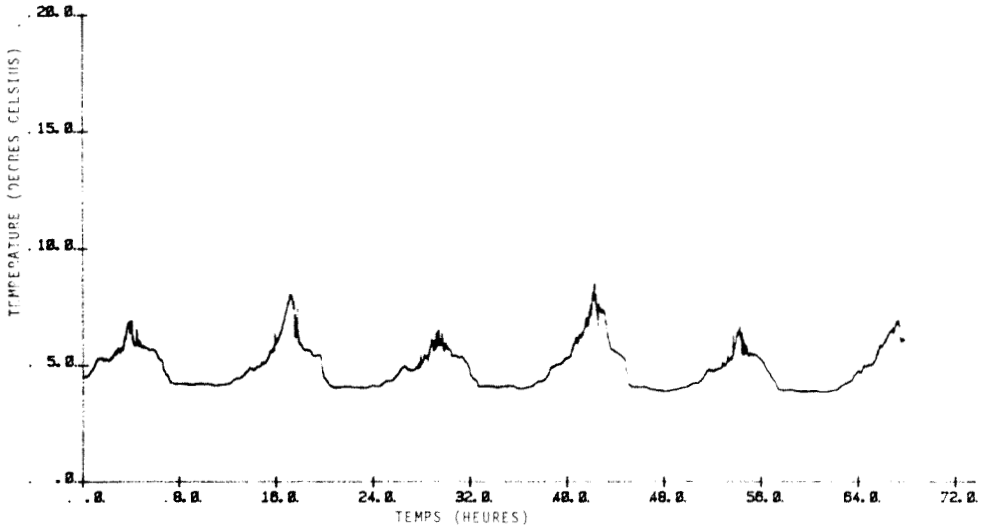


Figure 12. Température de l'eau.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT.....15:00.0 8-AOUT-77
 FIN.....10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT... .50 MIN.
 D..... 25. METRE (S).

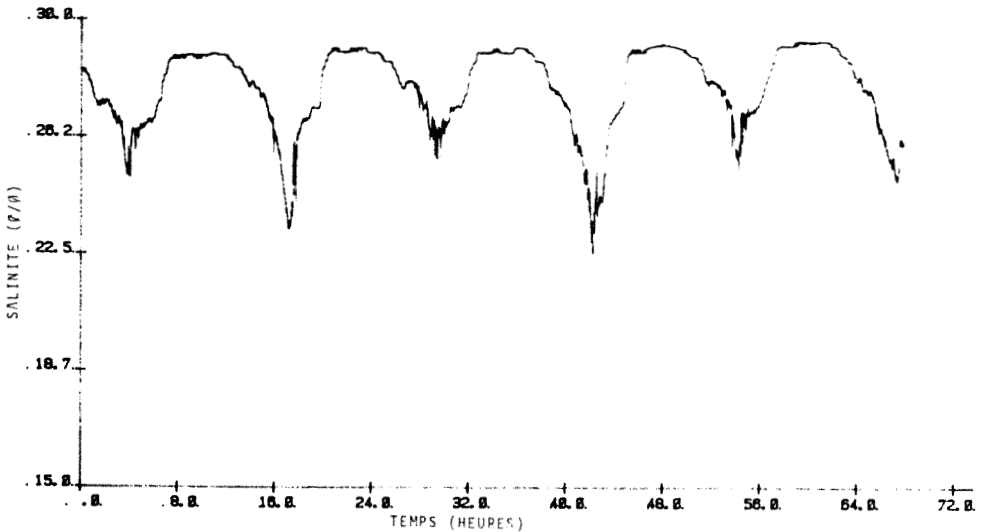


Figure 13. Salinité de l'eau.

DONNEES HYDRODYNAMIQUES 77-1
 DEBUT.....15:00.0 8-AOUT-77
 FIN.....10:50.0 11-AOUT-77

N..... 8141.
 INT.... .50. MIN.
 D..... 25. METRE (S).

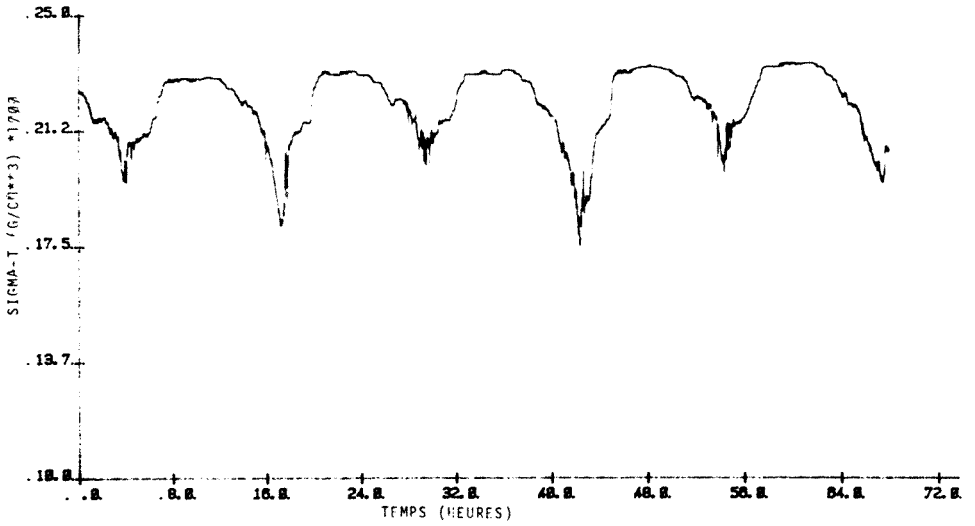


Figure 14. Sigma-T.

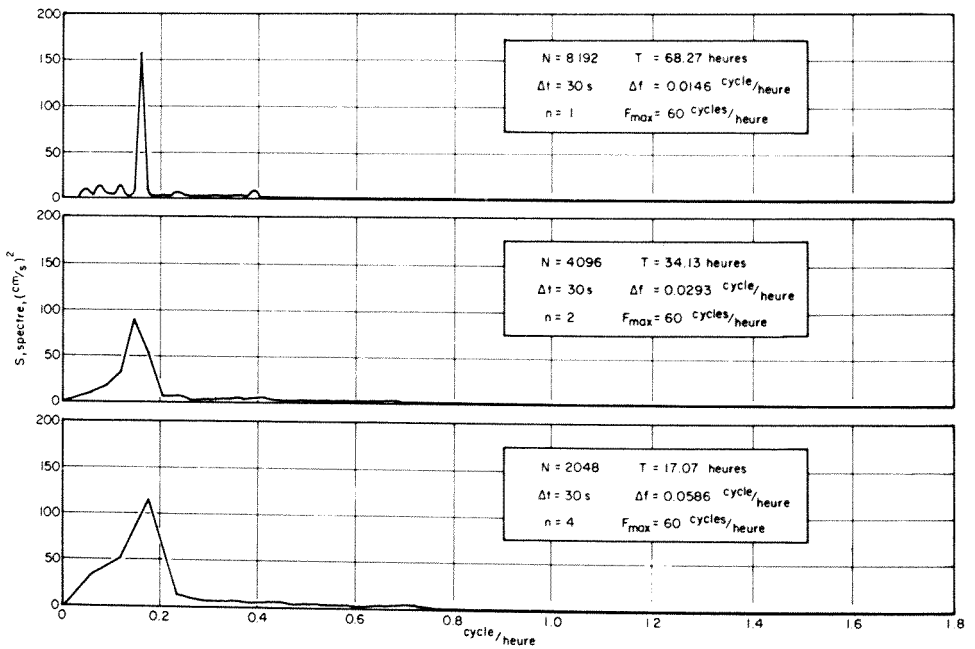


Figure 15. Spectres de l'enregistrement de la vitesse du courant montré à la figure précédente.

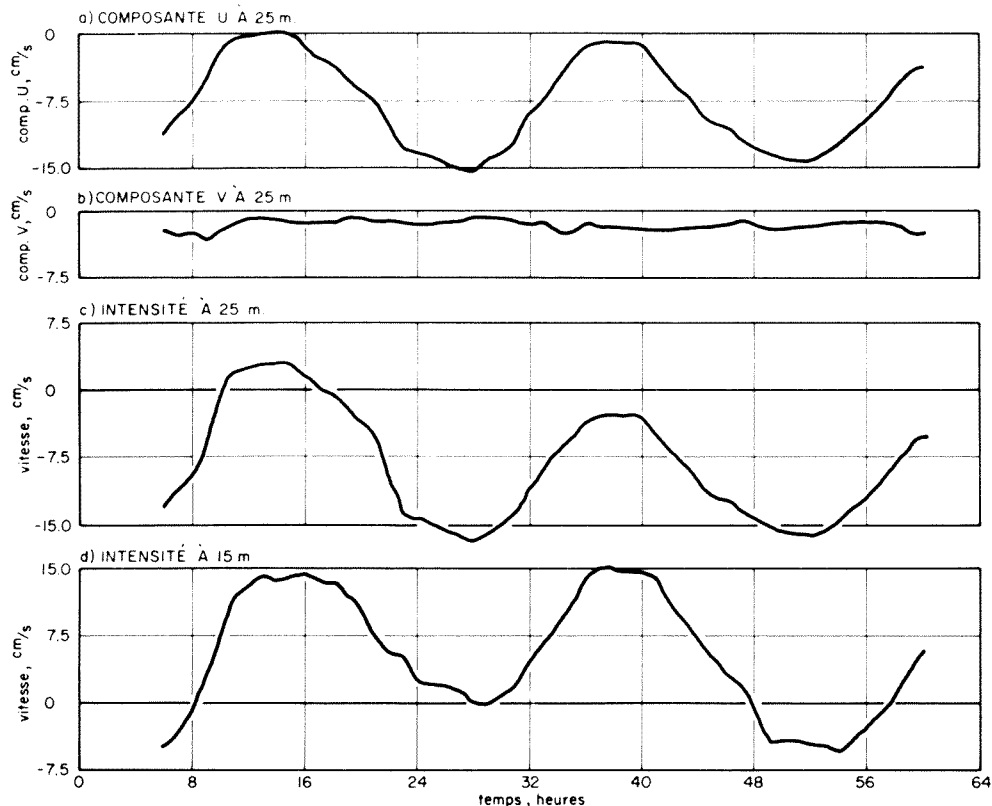


Figure 16. Vitesse résiduelle sur un cycle de marée évaluée à toutes les heures à la station 77-01.

L'examen des enregistrements de données physico-chimiques recueillies sporadiquement dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent montre que, bien qu'il y ait présence d'une grande variabilité des phénomènes, la contribution des hautes fréquences à l'énergie du signal est très faible. De tels enregistrements présentent donc peu de valeur pour la description de la circulation résiduelle; des enregistrements à plus longue durée avec une prise d'échantillons à environ toutes les 5 à 30 minutes apporteraient donc beaucoup plus à la description de la circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du Saint-Laurent.

Compte tenu de ces facteurs, la sporadicité et la courte longueur des enregistrements obtenus entre 1975 et 1977 ne présentent que peu d'utilités pour la description générale de la circulation dans l'estuaire moyen, si ce n'est qu'ils ont permis de démontrer la nécessité de la prise simultanée d'échantillons plus longs. Cette conclusion est basée sur la variabilité de la vitesse ré-

siduelle et la très faible contribution à l'énergie totale de l'écoulement apportée par les fluctuations de haute fréquence.

Références

- BUDGE, W. P. and L. R. MUIR, 1973. St. Lawrence River Current Survey; 1973 Data Report. — Ocean and Aquatic Sciences, Cent. Region, Dep. Fish. Envir., Burlington, 171 p.
- DUDGE, W. P. and L. R. MUIR, 1975. St. Lawrence River Current Survey; 1974 Data Report. — Ocean and Aquatic Sciences Cent. Region, Dep. Fish. Envir., 335 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 1973 à 1977. Tables des marées et courants du Service des pêches et de la mer. — Pêches et Environnement Canada, 55 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU CANADA, 1971. Salinity Survey, île d'Orléans to île du Gros Cacouna. — Division du chenal maritime du Saint-Laurent, 82 p.
- OUELLET, Y. et J. CERCEAU, 1976. Mélange des eaux douces et salées du Saint-Laurent —

- Circulation et Salinité. — Cah. Centreau, 1 (4): 62.
- OUELLET, Y., C. TRUMP, et F. TREMBLAY, 1978. Campagnes de mesures de courantométrie de l'estuaire moyen du Saint-Laurent: 1973-1977. — Rapport du département de Génie civil, Université Laval.
- SIMMONS, H. B., 1966. Field Experience in Estuaries, p. 673-690. *In* Estuary and Coastline Hydrodynamics, A. T. Ippen (Ed.), McGraw-Hill, p. 673-690.
- SOUCY, A., Y. BÉRUBÉ, J.-P. TROUDE, et P. MERIC, 1976. Évolution des suspensions et des sédiments dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. — Cah. Centreau, 1 (5): 67.

INTERNAL TIDES IN THE MIDDLE ESTUARY OF THE ST. LAWRENCE

Langley R. MUIR

*Central Region, Ocean and Aquatic Sciences
Fisheries and Environment Canada,
P.O. Box 5050, Burlington, Ontario L7R 4A6*

Abstract

Analysis of thirty-day current meter records in the middle estuary of the St. Lawrence River reveals that the phase of the tidal streams is not constant. This suggests that internal tides may be an important component in the structure of the tidal currents. Observations from profiling stations show that the internal wave field is well developed and has markedly different characteristics over the spring to neap cycle. Results from the application of internal wave theory are presented which show the structure of the internal wave field at one station on both spring and neap tides. These calculations show that the internal wave field contains a significant proportion of the energy in the middle estuary, that the internal wave field has extremely short wavelengths, and that the middle estuary has energy densities approximately 150-200 times as large as the energy densities on the Scotian Shelf. Explanations of the physical processes in the middle estuary must take into account the internal wave field.

Résumé

Des séries de données prélevées pendant trente jours à l'aide de courantomètres mouillés dans l'Estuaire du fleuve Saint-Laurent montrent que la phase des courants de marée n'est pas constante. Cela laisse croire que des marées internes puissent être une composante importante de la structure des courants de marée. Des observations à des stations fixes montrent que le champ des ondes internes est bien développé et qu'il présente des caractéristiques très différentes durant le cycle marées de niveau-marées de morte eau. La théorie des ondes internes est utilisée pour montrer la structure du champ des ondes internes à une station durant les marées de niveau et de morte eau. Ces calculs montrent que le champ des ondes internes contient une proportion significative de l'énergie dans l'Estuaire moyen et qu'il est formé de longueurs d'onde très courtes; ces calculs montrent également que l'Estuaire moyen présente des densités énergétiques environ 150 à 200 fois plus fortes que les densités énergétiques mesurées sur le plateau écossais. Toute explication des processus physiques dans l'Estuaire moyen devrait tenir compte du champ des ondes internes.

Introduction

Internal waves have been shown by many authors to be a ubiquitous phenomenon in the ocean and on the continental shelves (Briscoe, 1975). Forrester has shown that there are large internal tides, that is internal waves of tidal frequency, in the lower St. Lawrence estuary (Forrester, 1974), and these internal tides may provide the driving mechanism for the nutrient pump hypothesized by Steven (1974) which occurs off the mouth of the Saguenay River. Sundby and Poulet (1975) and D'Anglejan and Ingram (1976) have speculated about internal

wave fields in the middle estuary of the St. Lawrence which would explain the variability in suspended sediment data, while Deguise (1977), in his M.Sc. thesis, discussed high-frequency, internal waves near Pointe-au-Pic. There is, therefore, some reason to suspect that internal tides may be an important process in the circulation and mixing in the middle estuary of the St. Lawrence River.

The purpose of this paper is to show that internal tides do exist in the middle estuary and to discuss some of the evidence for their existence. The mathematical theory of these waves will be published elsewhere; but some

of the results of the calculations will be shown in order to discuss some of the properties of these internal waves and to discuss some of the effects that would be expected.

Tidal propagation

The co-tidal chart of the St. Lawrence estuary (Budgell and Muir, 1975) would indicate that the tide in the middle estuary progresses upstream as a Kelvin wave. Its highest amplitudes are on the north shore,

and the co-phase lines are essentially perpendicular to the long axis of the estuary. Unfortunately, analysis of current meter observations collected in 1974 and 1975 in the middle estuary does not support this simple conclusion. If the phases of the M_2 tides and tidal streams are plotted on a chart as in Figure 1, then it seems obvious that the phases of these currents cannot be contoured as can the phases of the surface tide. In addition, the two phenomena do not propagate at the same speed since it takes the surface tide about 30 minutes to travel

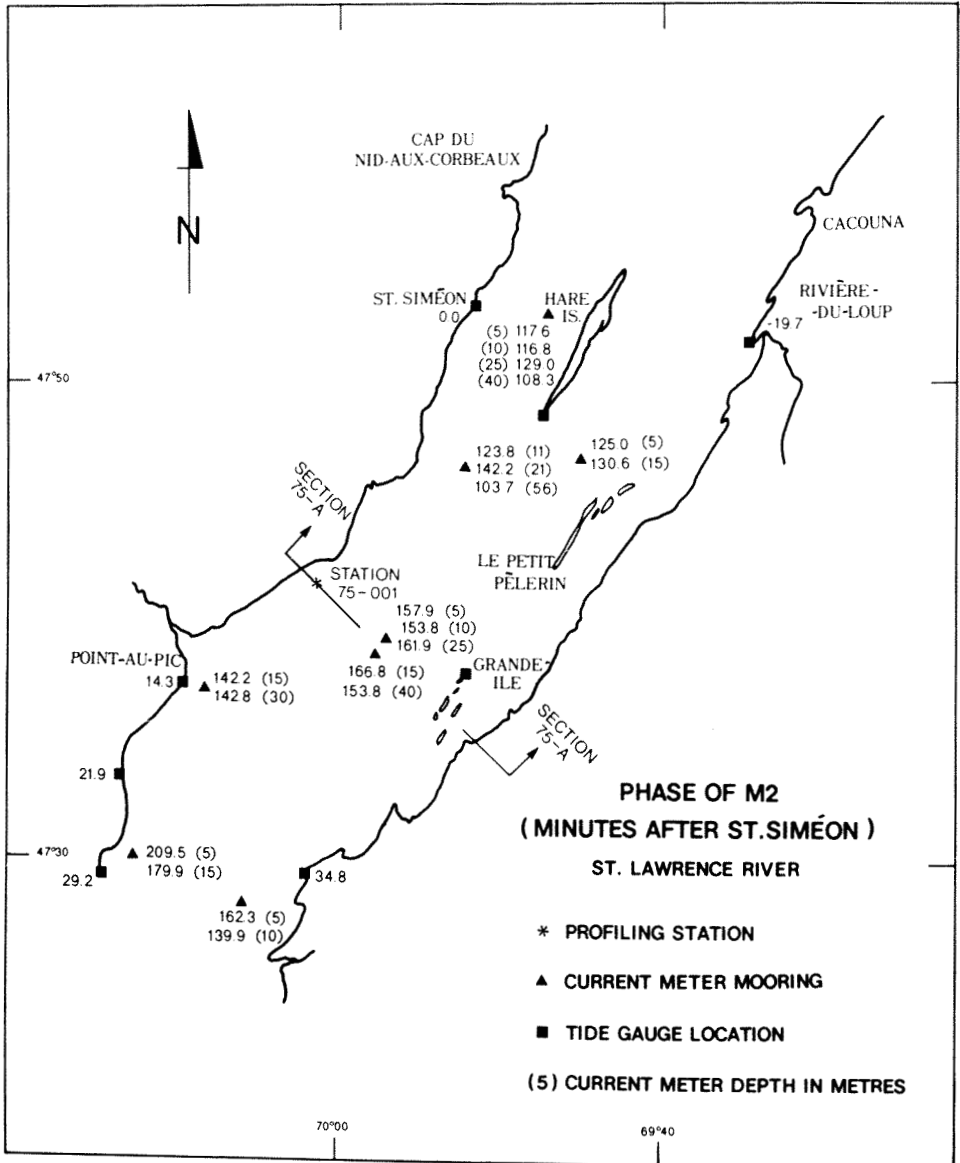


Figure 1. Phase of the M_2 tidal constituent in minutes after Saint-Siméon.

from St. Simeon to Goose Cape, while the tidal stream at 5 metres takes about 92 minutes to cover the same distance, and, in addition, it arrives on the south shore at Pointe-Aux-Orignaux 47 minutes before it arrives at Goose Cape. There are many other anomalous features about the M_2 tidal stream phases and, in fact, about the phases and amplitudes of all of the tidal stream constituents, which cannot be explained by a progressive barotropic wave theory.

To eliminate the possibility that the results of the analysis of the tidal streams were due to faults in the harmonic method, the data were re-analyzed by means of the admittance method (Godin, 1976) using Saint-Jean-Port-Joli as a reference port. The results of the admittance analysis were virtually identical to those obtained from the harmonic analysis, which eliminates the possibility of faults in the method of analysis. Since the admittance method allows the analysis of very short records, each of the 30-day records from 1974 was re-analyzed in three consecutive, non-overlapping, 10-day sections. The rather surprising result was that the phases of the tidal constituents were not constant. Table I lists the difference, in degrees, between the phase of the M_2 constituent computed in each 10-day section and the phase computed for the whole 30-day record for each of the current meter records obtained in 1974. (For the M_2 tide, one degree is equal to approximately 2,07 minutes, and mooring details are in Budgell and Muir, 1975.) Note that the phase shift is always in the same direction and that the magnitude of the phase shift varies depending on the location of the mooring and on

the depth of the instrument. Very similar results are obtained for other constituents from different frequency bands. The fact that all of the phase shifts are in the same direction and that they are present in all of the records and the fact that the harmonic analysis and the admittance analysis records, on the whole, agree, argues that there is no systematic error in the collection or analysis of the individual records and that there must be a physical explanation for the phenomena of non-constant phase in the analyzed tidal stream constituents.

Internal tides

Within the error limits of the analysis, the phase of a tidal constituent must be a constant, but the phase shifts shown in Table I are much larger than the expected error in the analysis. It seems reasonable, therefore, to conclude that the constituents computed by the analysis are not true tidal constituents in the sense of being purely barotropic currents forced by the surface tide. It is fairly easy to explain these phase shifts in a qualitative manner, however, if we assume that there are internal tides of various modes present in the signal.

If a surface tide constituent generates internal modes, by some means, at a source and if we consider the propagation of the resulting disturbance along a uniform channel, then for the given frequency, σ , at a distance x from the source, the long channel current will be given by:

$$u(x, z, t) = \sum_{i=0}^m a_i(z) \cos(\sigma t + k_i x) \quad (1)$$

where: $a_i(z)$ = amplitude of the i^{th} mode at depth z ;

TABLE I
Instability of M_2 Phase from 1974 Moorings

Station number	Latitude	Longitude	Greenwich phase from total record	Phase difference (degrees)		
				1st 10 days	2nd 10 days	3rd 10 days
74-01Z005	47-30-15N	70-12-01W	260,8	1,02	16,46	0,58
74-01Z015	47-30-15N	70-12-01W	246,5	3,50	9,62	1,39
74-04Z005	47-27-54N	70-07-10W	237,0	2,26	12,68	1,37
74-04Z010	47-27-54N	70-07-10W	227,2	0,94	12,00	3,91
74-07Z015	47-38-06N	69-57-05W	240,2	4,35	8,01	4,81
74-07Z040	47-38-06N	69-57-05W	233,9	2,45	10,09	1,56
74-11Z011	47-45-36N	69-51-30W	248,3	5,13	9,31	5,00
74-11Z021	47-45-36N	69-51-30W	228,3	6,15	6,39	6,36
74-11Z056	47-45-36N	69-51-30W	209,7	3,28	10,72	-0,10

- σ = frequency of the tidal constituent;
 t = time;
 k_i = wave number of the i^{th} mode
 $\quad = 2\pi/\text{wavelength}$;
 x = distance from the source; and
 m = number of modes; the surface tide has mode number 0.

The above equation may be transformed to:

$$u(x, z, t) = [(\sum a_i(z) \cos k_i x)^2 + (\sum a_i(z) \sin k_i x)^2]^{1/2} \cos(\sigma t + \theta)$$

where: $\theta = \arctan \left[\frac{\sum a_i(z) \sin k_i x}{\sum a_i(z) \cos k_i x} \right]$

And so the current at some distance from the source will still be described by a cosine at the appropriate frequency, but both the phase and the amplitude will be functions of the amplitudes and the wave numbers of all of the modes.

If we assume, then, that there is a source for the internal waves, then the amplitudes and phases for the observed currents and isopycnal displacements could be calculated simply from a knowledge of the amplitudes at the source and the wave numbers. However, the wave numbers themselves are a function of the mean density structure of the water mass separating the source and the point of observation (Roberts, 1975). If this density structure changes as a function of time, such as from spring to neap tides, then the wave numbers and hence the properties of the resulting tidal streams at the observing station will also be a function of time, even if the generating mechanism remains constant over time.

Observations

Figure 2 shows the tidally-averaged densities at a cross-section called 75-A, just downstream from Pointe-au-Pic (see Figure 1), for spring tides and for neap tides. The data for this figure and for the following discussion consist of vertical profiles of temperature, salinity, and velocity repeated every one-half hour over a 13-hour tidal cycle (Muir, 1977). The figure shows that the stratification in the two cases is quite dissimilar. The tidally-averaged neap tide stratification is much stronger than that of the tidally-averaged spring tides since there is much more energy available at spring tides for mixing. The wave numbers at any given frequency and mode would be quite different in the two cases and so, if this section is a

constant distance from the source of internal tides, one would expect the amplitudes and phases of the resultant analyzed constituents to be quite different at spring and neap tides. This dissimilarity of stratification is quite typical of sections in the middle estuary and, in addition, there are quite strong longitudinal density gradients at all tide ranges. This would argue then that an internal wave would be modulated quite strongly in its passage of the middle estuary and that the degree of modulation would be time dependent since the basic tidally-averaged stratification is time dependent.

An examination of the Hydrographic chart of the area will reveal that the topography of the area should have a very strong influence on the generation and propagation of the internal wave field. The English Bank is a very marked obstruction in the channel near Pointe-au-Pic and it can be shown that the bottom slopes in the area are such that reflection of internal waves is possible at some tidal frequencies. Hence, an observation of supposedly barotropic tidal streams at a given frequency at one point in the middle estuary could very easily be, in reality, an observation of barotropic tidal streams plus progressive internal tides of various modes plus reflected internal tides, all at the given frequency. The resultant signal from all of these processes, however, would still be a single cosine curve, as shown by equation (2). The modulation of this signal with time and in space could be highly complex and would be a function of the basic density structure of the estuary.

Figure 3 is a plot of the observed 20 σ_1 surface passing cross-section 75-A as a function of depth, time and distance across the estuary and shows that the observed internal wave field is quite different at spring and neap tides. Although an internal wave will not disturb the surface, and hence will not be apparent from observations of the surface tide, it can produce quite large displacements of the isopycnals and quite large currents. The isopycnal surfaces show that the observed internal wave field has a large vertical amplitude, that it has a definite cross-stream component, and that the wave field is distinctly different from spring to neap tide, with the maximum amplitude and complexity occurring at spring tides as would be expected.

A method has been developed, which will be published elsewhere, to calculate the amplitudes and phases of the internal tides

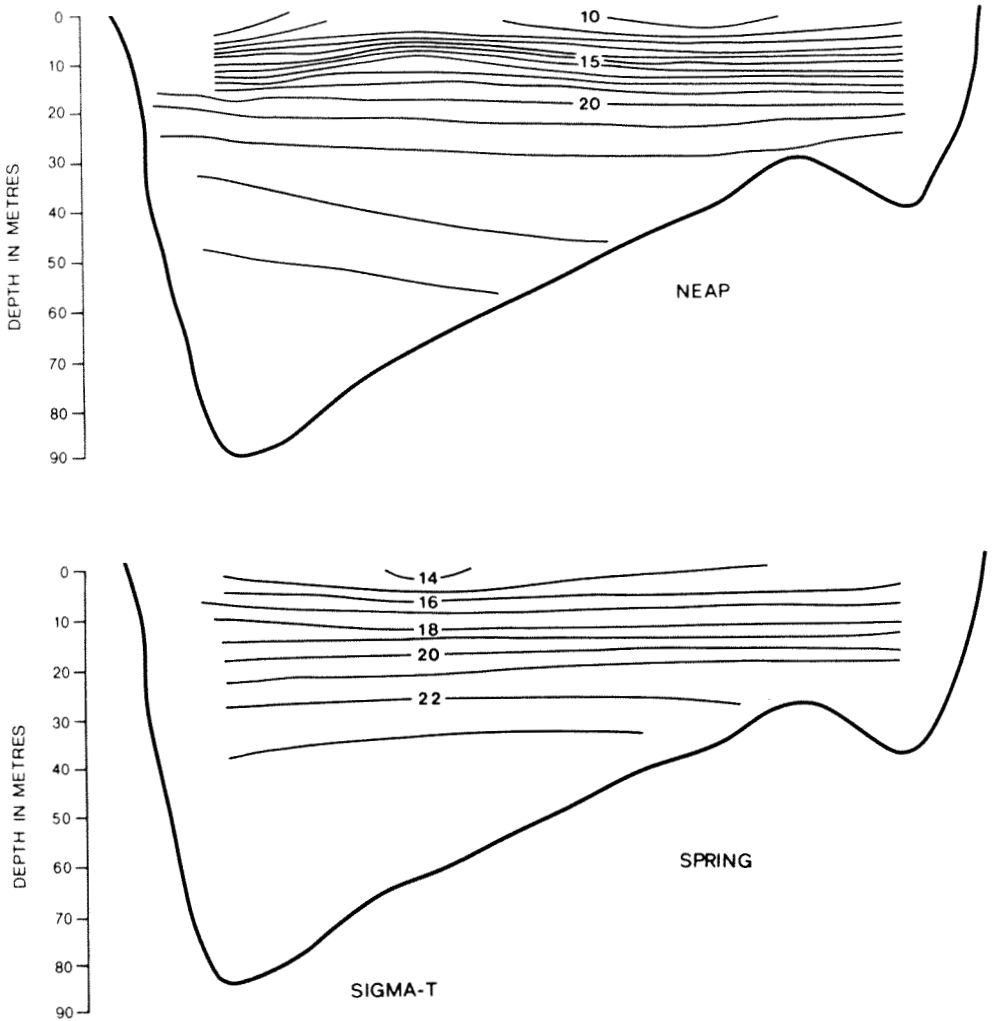
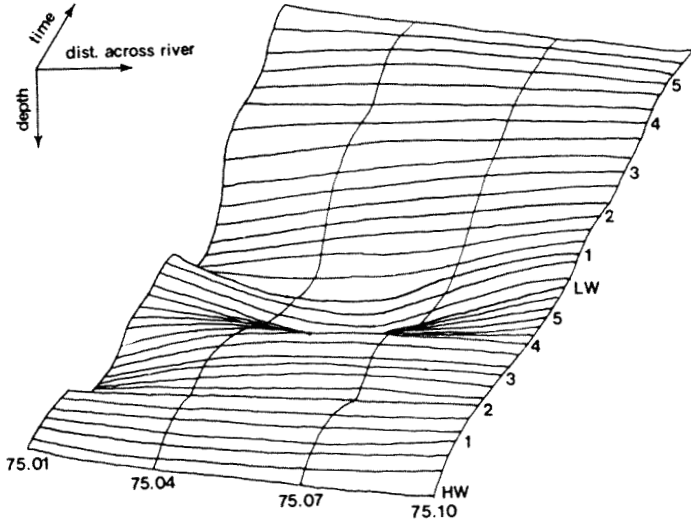


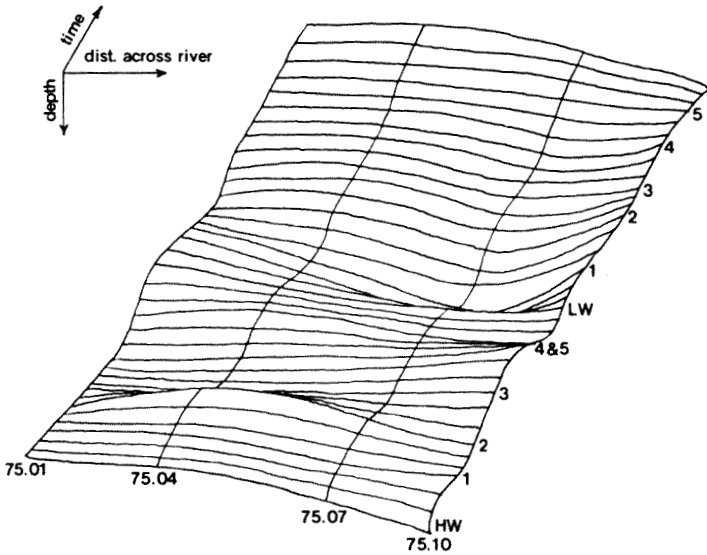
Figure 2. Tidally-averaged density structure at section 75-A for spring and neap tide conditions.

from observed repeated profiles of temperature, salinity, and velocity at a given station. Since the record lengths are very short, it is not possible to resolve individual tidal constituents. However, if we assume that the M_2 frequency is representative of the semi-diurnal tidal frequencies, the M_4 is representative of the quarter-diurnal tidal frequencies, etc., then these observed profiles may be analyzed. This work has not yet been completed for all of the 1975 and 1977 station data but, to give an indication of the results, one station has been analyzed for spring tide conditions and for neap tide conditions.

Station 75-001B is 10 km downstream of Pointe-au-Pic and 2 km from the north shore at latitude $47^{\circ}40'30''$ N and longitude $70^{\circ}02'15''$ W, and the observations covered 13 hours of a spring tide cycle. Station 75-001C is in the same location but covered 13 hours of a neap tide cycle. Table II gives the parameters derived from fitting the surface and three internal modes at the six tidal frequencies to the density and velocity data from station 75-001B. Table III lists the same parameters using the density and velocity data from station 75-001C. Using the derived data, the parameters may be used to re-



1975 St. Lawrence
 Isopycnal Surface - depth vs time at Section 75-A
 SPRING TIDES
 $\sigma_t = 20$



1975 St. Lawrence
 Isopycnal Surface - depth vs time at Section 75-A
 NEAP TIDES
 $\sigma_t = 20$

Figure 3. Isopycnal surfaces passing section 75-A as a function of time for spring and neap tide conditions.

TABLE II

Internal Wave Parameters for Station 75-001B. Standard Error for Major and Minor Axes of Ellipse is 1.86 cm/sec. Phase is in Hours after High Water at Pointe-au-Pic. Spring Tide Conditions.

Const. name	Mode No.	Frequency (rad/hr)	Wavelength (km)	Density		Velocity			
				Amp. (m)	Phase (hrs)	Major (cm/sec)	Minor (cm/sec)	Inclination (degrees)	Phase (hrs)
M ₂	0	0.50589	1619.5	8.23	-1.14	78.62	2.49	41.4	-4.42
	1	0.50589	47.7	8.28	4.18	9.37	-2.29	40.7	6.57
	2	0.50589	22.0	1.87	-6.05	23.31	-2.40	37.3	0.19
	3	0.50589	14.8	4.04	2.47	3.24	-1.08	58.1	2.99
M ₄	0	1.01178	563.5	9.72	-1.76	13.35	-0.68	34.4	-1.49
	1	1.01178	16.60	1.19	-2.96	27.18	-2.98	28.6	-1.50
	2	1.01178	7.73	2.40	-1.11	4.62	-2.80	69.3	-2.35
	3	1.01178	5.15	2.68	-3.05	5.79	2.89	169.5	1.81
M ₆	0	1.53248	355.2	5.58	-1.92	5.72	0.21	28.6	1.16
	1	1.53248	10.46	8.56	-1.66	14.51	-1.31	70.0	1.43
	2	1.53248	4.87	2.15	-0.64	9.59	-2.34	10.7	0.01
	3	1.53248	3.25	2.04	2.00	3.56	0.20	124.0	3.41
M ₈	0	1.99466	269.2	3.35	0.76	8.24	1.64	49.0	0.76
	1	1.99466	7.93	2.56	1.09	9.97	-2.88	25.7	0.54
	2	1.99466	3.69	2.69	0.92	5.36	-3.03	15.8	0.83
	3	1.99466	2.46	1.64	-1.12	3.94	0.41	36.8	1.64
M ₁₀	0	2.57507	206.9	1.74	-0.01	2.49	1.93	9.0	0.33
	1	2.57507	6.09	2.67	-0.01	4.28	1.63	84.7	0.02
	2	2.57507	2.84	0.69	0.17	4.72	-2.19	80.56	0.46
	3	2.57507	1.89	0.16	1.11	7.15	-1.16	25.23	-0.81
M ₁₂	0	3.06496	173.2	3.35	-0.24	1.86	-0.63	86.9	-0.31
	1	3.06496	5.10	4.05	-0.36	5.24	-1.59	157.2	-0.04
	2	3.06496	2.38	1.53	-0.20	4.41	-1.43	90.0	0.35
	3	3.06496	1.58	2.17	-0.33	2.30	1.18	119.3	1.45

compute the density fluctuations, and plots of the observed versus computed density fluctuation are given as a function of depth and time; Figure 4 gives the results from Station 75-001B and Figure 5 gives the corresponding results from station 75-001C.

In both Tables II and III, the first important point is that the amplitudes of the internal modes are very large and are, in fact, comparable to the amplitudes of the surface mode. However, the amplitudes ratios are significantly different from spring to neap tides. For example, from station 75-001B, the amplitude of the M₂ surface and first mode displacement are approximately equal at 8.2 metres; but at station 75-001C, the first internal mode has a displacement which is much larger than that of the surface mode.

For the M₄ constituent at 75-001B, the amplitude of the surface mode is much larger than for the first internal mode; while at station 75-001C, the opposite is the case. Numerous other examples may be found by examining the two tables. So, the second important point is that the amplitude and phase structure of the internal wave field is quite different from spring tide to neap tide. By analogy, since the amplitude of the diurnal inequality may be as large as the spring to neap inequality, one could assume that the internal wave field could be quite different from one tide to the next. The third important point to note is that the wavelengths of the internal waves are extremely short. Typical length scales in the middle estuary are in the range of 10 to 50 km, which is

TABLE III

Internal wave parameters for Station 75-001C. Standard error for major and minor axes of Ellipse is 2.1 cm/sec. Phase is in hours after high water at Pointe-au-Pic. Neap tide conditions.

Const. name	Mode No.	Frequency (rad/hr)	Wavelength (km)	Density		Velocity			
				Amp. (m)	Phase (hrs)	Major (cm/sec)	Minor (cm/sec)	Inclination (degrees)	Phase (hrs)
M ₂	0	0.50589	1547.1	7.49	5.25	50.0	0.51	37.9	1.65
	1	0.50589	57.5	10.97	4.71	21.0	2.0	30.6	-3.73
	2	0.50589	26.3	3.85	5.88	14.9	8.3	61.9	5.51
	3	0.50589	17.6	3.38	5.28	7.9	-5.6	79.6	2.20
M ₄	0	1.01178	538.3	6.82	-0.38	5.9	-0.1	56.6	2.81
	1	1.01178	20.0	8.51	-0.15	19.2	2.8	31.1	-2.07
	2	1.01178	9.16	5.38	-0.14	19.6	1.7	52.5	-0.59
	3	1.01178	6.12	1.79	-1.14	9.1	-2.6	128.7	3.20
M ₆	0	1.53248	339.4	7.02	0.67	3.5	-1.5	173.1	0.35
	1	1.53248	12.6	8.75	0.74	9.9	-6.8	55.5	-1.23
	2	1.53248	5.77	4.15	0.61	7.2	-0.8	102.9	2.89
	3	1.53248	3.86	1.60	-0.12	7.0	-0.8	6.3	2.06
M ₈	0	1.99466	257.2	3.42	0.53	3.0	-2.0	48.8	1.86
	1	1.99466	9.56	2.39	0.63	4.2	-1.4	3.6	0.95
	2	1.99466	4.38	0.97	0.70	8.9	0.8	83.1	-0.84
	3	1.99466	2.92	1.72	0.39	7.5	-1.7	79.4	-0.61
M ₁₀	0	2.57507	197.6	2.72	-0.92	1.7	-0.9	116.4	0.90
	1	2.57507	7.35	3.38	-1.02	9.4	0.6	72.6	1.17
	2	2.57507	3.36	1.85	-0.84	3.6	1.4	32.1	0.78
	3	2.57507	2.25	0.24	-1.09	3.1	2.2	31.3	0.47
M ₁₂	0	3.06496	165.5	4.69	0.29	1.01	-0.62	75.6	0.43
	1	3.06496	6.15	4.39	0.25	1.9	1.1	53.1	0.64
	2	3.06496	2.82	3.21	0.33	2.2	1.0	91.6	-0.10
	3	3.06496	1.88	1.96	0.23	4.2	-3.2	178.9	0.79

within the range of most of the wavelengths. Hence, one could assume that resonance effects are possible when the wavelength of an internal tide matches the length of one of the topographic features in the estuary. The shortest wavelengths calculated are on the order of 1.5 to 2.0 km, and so one could expect to obtain very different conditions between very closely-spaced stations.

Conclusions

The purpose of this paper was to show that a large internal tide is present in the middle estuary of the St. Lawrence, and this has been done. It should not be thought, however, that the internal tide is a simple process. On the contrary, an examination of

Tables II and III raises some very important questions. Clearly the structure of the internal tides is different in the two cases, and it would be of interest to be able to explain this structure in a quantitative manner. All questions of wave refraction, reflexion, diffraction, topographic effects, resonance, interaction, and generation mechanisms have been ignored in this analysis but should be important. It seems fairly clear that the internal wave field is a very important physical mechanism controlling the circulation and the mixing of the middle estuary and that this is quite an energetic process. A simple calculation of the total, tidally-averaged energy density shows that the energy density is about 150 to 200 times as large as Petrie's (1974) estimates of about 20 ergs/cm³ for

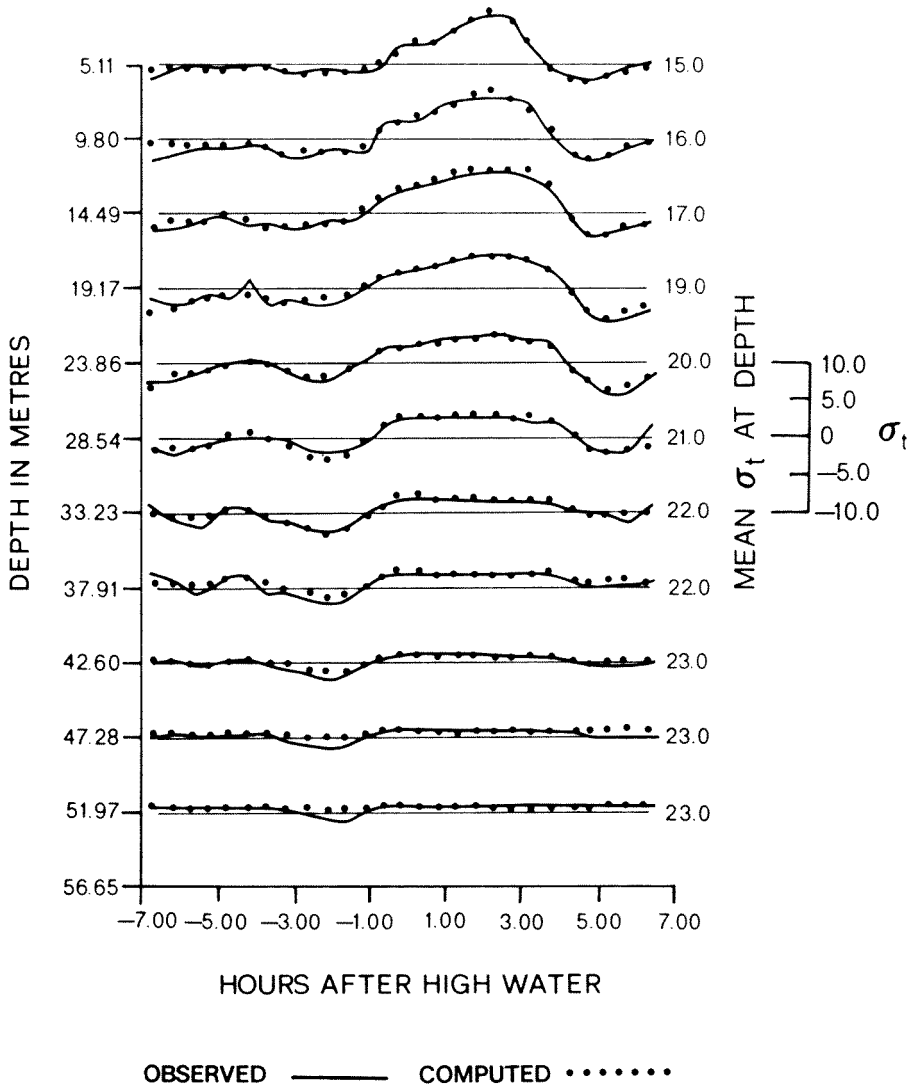


Figure 4. Density structure at station 75-001B. Spring tide conditions.

References

- BRISCOE, M. C., 1975. Internal waves in the Ocean. — *Rev. Geophys. Space Physics*, 13(3): 591-598.
- BUDGELL, W. P. and L. R. MUIR, 1975. St. Lawrence River Current Survey; 1974 Data Report. — *Ocean and Aquatic Sciences, Cent. Region, Dep. Fish. Envir.* 335 p.
- D'ANGLEJAN, B. and R. G. INGRAM, 1976. Time-depth variation in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. — *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 4: 401-416.
- DeGUISE, J. C., 1977. High frequency internal waves in the St. Lawrence Estuary. — M.Sc. Thesis, McGill University, 93 p.
- FORRESTER, W. D., 1974. Internal tides in the St. Lawrence Estuary. — *J. mar. Res.*, 32(1): 55-66.
- GODIN, G., 1976. The Reduction of current observations with the help of the admittance function, Technical Note No. 14. — *Mar. Envir. Data Serv., Dep. Fish. Envir.*, 13 p.
- MUIR, L. R., 1977. St. Lawrence Current Survey; 1975 Data Report. — *Ocean and Aquatic*

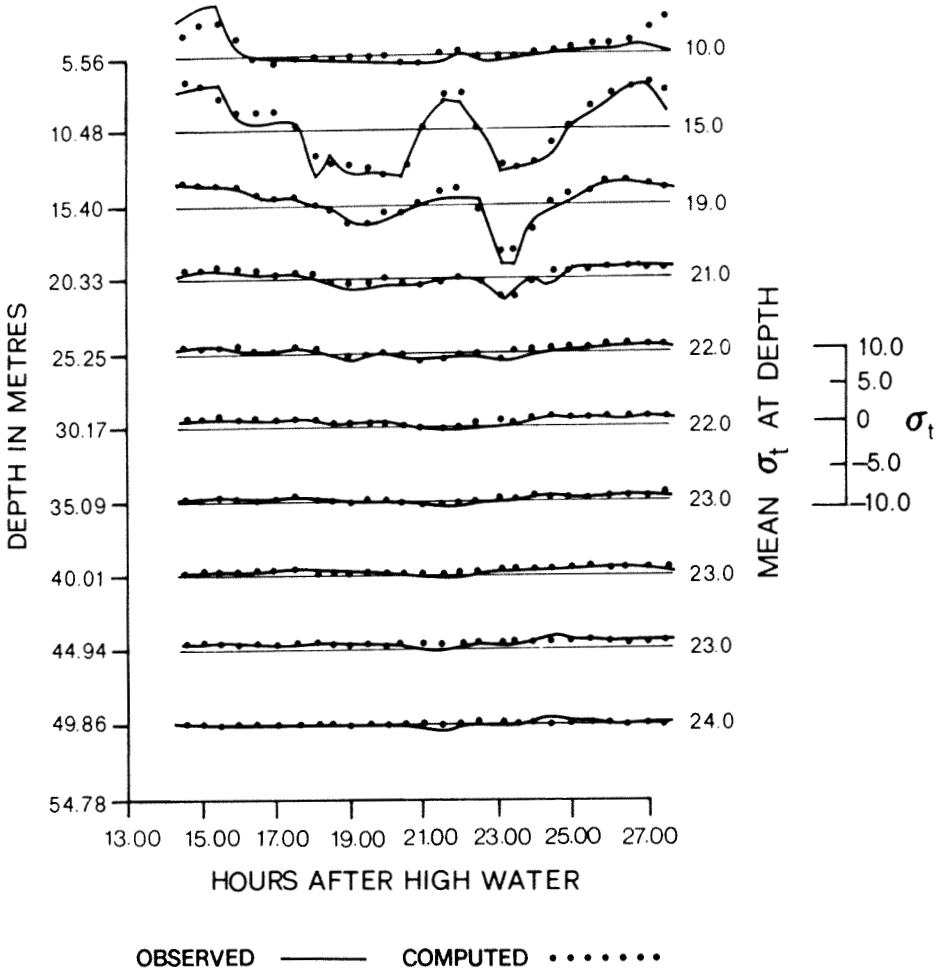


Figure 5. Density structure at station 75-001C. Neap tide conditions.

Sciences, Cent. Region, Dep. Fish. Envir., 315 p.

PETRIE, B., 1975. M_2 Surface and internal tides on the scotian shelf and slope. — *J. mar. Res.*, 33(3): 303-323.

ROBERTS, J., 1975. Internal gravity waves in the Ocean. — Marcel Dekker Inc., New York, 274 p.

STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — McGill University, Manuscr. Rep. No. 19, 116 p.

SUNDBY, B. and S. A. POULET, 1975. The St. Lawrence turbidity maximum: relationships between suspended matter of physical oceanographic parameters. — Hydrographic Committee, 63rd Statutory Meeting ICES.

NUMERICAL SIMULATION OF THE MOVEMENT AND DISPERSION OF OIL SLICKS IN THE UPPER ST. LAWRENCE ESTUARY: PRELIMINARY RESULTS

F. AUBIN, M. I. EL-SABH

*Département d'Océanographie, Université du Québec à Rimouski,
Rimouski, Québec, G5L 3A1*

et

T. S. MURTY

*Institute of Ocean Sciences, Department of Fisheries and the Oceans,
Sidney, B. C.*

Résumé

Cette étude, relative à une simulation numérique du mouvement et de la dispersion de nappes d'huile dans l'estuaire du Saint-Laurent, traite du développement d'un modèle qui calcule la trajectoire d'une nappe d'huile sous l'effet des courants de marée, des vents et des variations aléatoires dans le champ du vent. Deux déversements expérimentaux effectués en novembre 1972 ont été simulés avec des résultats raisonnablement concordants. Un résultat important de cette étude est que la persistance ou la durée du vent doit être traitée comme un des facteurs prioritaires.

Abstract

This study deals with a numerical simulation of the movement and dispersion of oil slicks in the upper St. Lawrence Estuary. A numerical model is developed which computes the trajectory of an oil slick due to tidal currents, winds and random variations in the wind field. Two field experiments conducted in November 1972 were simulated reasonably accurately. One important result of this study is that the wind persistence or duration has to be treated as a primary factor also.

Introduction

Concern with oil pollution in the St. Lawrence Estuary was prompted by the suggestion made recently by the Québec Government that a supertanker port may be developed in that region. There is a great deal of shipping activity in and out of the St. Lawrence Seaway. Together with the western part of the Gulf of St. Lawrence, this is the area of greatest biological production and the site of major fisheries activities for herring, cod and plaice, as well as for some other species (Steven, 1974). There are, therefore, a number of good reasons, both scientific and practical, for intensifying the study of oil pollution in the St. Lawrence Estuary.

Previous studies on movement and dispersion of oil slicks in the Estuary include those of Wilkinson (1971), Drapeau *et al.* (1974) and Simons *et al.* (1975). Drapeau *et al.* (1974) performed field experiments on oil spills in the Ile Verte region of the St. Lawrence Estuary in November 1972. Figure 1 shows the geography of this area and the

trajectories of the slicks obtained from these experiments (the grid shown in this figure is the one used for the present simulation). Wilkinson (1971) carried out a theoretical study of oil slick containment in the St. Lawrence Estuary and concluded that in the regions of strong tidal currents, it is impossible to contain oil slicks using booms. Due to this result, it is important that the trajectories of oil slicks be predicted in real time accurately for immediate clean up purposes in case of tanker accidents or oil spilled from shore-base facilities.

The environment

The area of interest lies between Ile Verte and Ile aux Coudres in the upper St. Lawrence Estuary (Fig. 1). The deepest waters occur in the North Channel which runs parallel to the North shore, the water depths being less than or equal to 200 m. In contrast, a broad subtidal platform of 10 m or less is developed along the more or less flat south shore. A discontinuous median ridge,

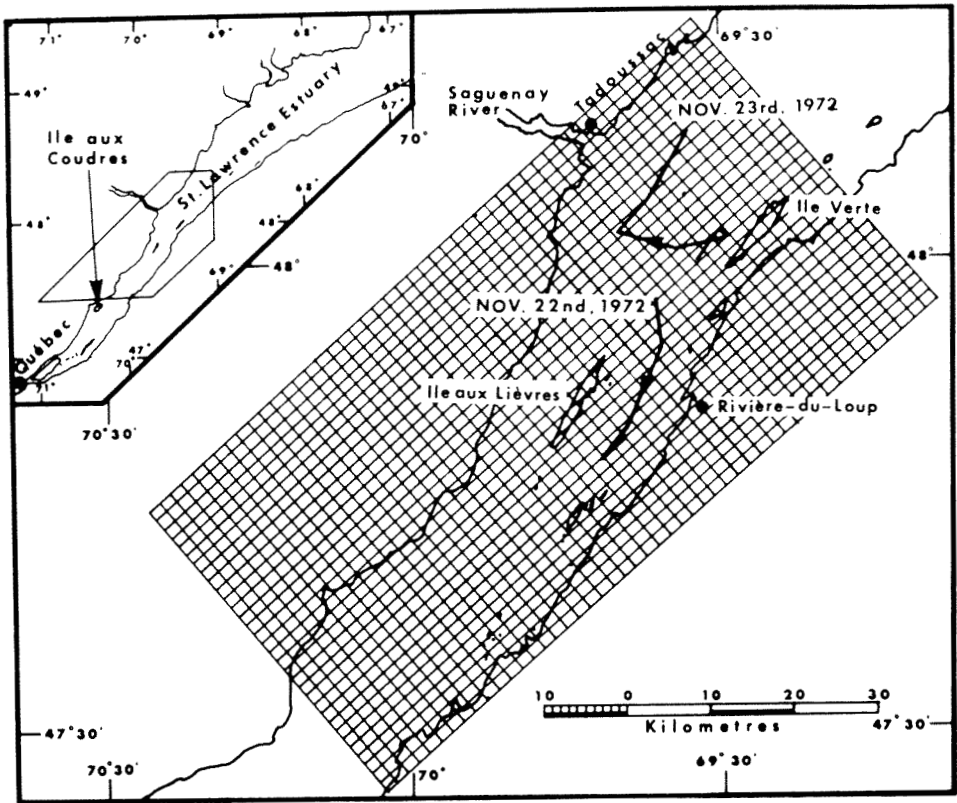


Figure 1. Numerical grid and oil slick trajectories observed for the two experiments carried out by Drapeau *et al.* (1974), in the upper St. Lawrence Estuary.

made up of islands and shallow banks subdivides the upper estuary longitudinally. Off the mouth of the Saguenay River, the bed drops abruptly to about 350 m, and remains approximately at this depth throughout the rest of the lower estuary.

Tides are one of the dominant oceanographic phenomena in the Estuary. Within the St. Lawrence Estuary, the semidiurnal tides dominate, with the tidal range increasing rapidly as the tide penetrates the Estuary reaching a mean value of 4 m at Tadoussac and a maximum of 5 m near Ile aux Coudres (Lévesque, 1977). Surface tidal currents near the mouth of the Saguenay are very strong with peak speeds reaching 3 m/s in large tides. The results of the numerical model developed by Lévesque (1977) shows that a strong transverse tidal current of the order of 50 cm/s exists near Tadoussac, which can be attributed to the rapid change in bottom topography at that location and to the presence of a progressive internal tide propagating seaward from the inland end of

the Laurentian Channel as observed by Forrester (1974).

Easterly winds prevail in the spring, and frequently blow for several days in succession. Westerly winds become more frequent towards summer, and southwesterly winds prevail in summer in all parts of the estuary. The average wind velocity is about 8 m/s and reaches a maximum of 15 m/s.

Input and principles of spill model

In the numerical program developed here based on Simons *et al.* (1975), only the first order forces, that is the hydrodynamic forces, are considered. Secondary factors such as properties of the oil, pour point, stratification of the water column, presence of ice in winter, etc. are not considered. It is believed that from a practical point of view, a prediction based on the primary factors is adequate. The primary factors considered are the followings: winds, tidal cur-

rents and random disturbances in the wind field (it was felt that random effects in the currents are less important) which give rise to dispersion of the oil slicks. The movement of the oil slick is essentially due to a combination of these three forces. Since hydraulic channel flows are quasi-stationary in nature, they may not vary during the period of the spill simulation and hence in a first approximation they are neglected. The concept of a vector addition of the displacement of the oil due to these three forces has been used in oil slick simulations in other water bodies. For example, Neu (1970) used this to predict the trajectories of oil slicks in Chedabucto Bay, Nova Scotia, following the Arrow disaster in 1970.

Figure 1 shows the numerical grid employed in the present study. The input data consists of the hydrographic and topographic data to start with. That is, one has to specify the land boundary, based on hydrographic charts. Also the grid parameters have to be specified, such as the coordinates of the lower left-hand corner, the mesh size in the two horizontal directions, the number of rectangles in the x - and y - directions and finally the angle with respect to true North. Once the grid is defined, the coordinates of the center of the spill and the relative time of the spill with reference to the time of the previous high water have to be specified.

To keep this paper short, we omitted all the details about the numerical model (for details, see Simons *et al.*, 1975). One extra primary factor we included here that is not present in Simons *et al.* study is the duration of the wind.

For convenience, the oil slick is represented by 5 000 particles (or markers). Dispersion of the slick is allowed in the program by permitting each particle to move independently of the others. The movement and dispersion of the slick are computed using different subroutines, each subroutine calculating the influence of one of the first order factors. The first subroutine calculates the movement of each particle due to tidal currents, the second subroutine is for winds and the third one is for the random effects.

The tidal current data are prescribed from the time-dependent two-dimensional numerical model developed by Lévesque (1977) for the St. Lawrence Estuary. Some interpolation of this tidal current data is necessary for our grid which is similar but a mul-

tipole of the grid used by Lévesque (1977). The wind data is prescribed from the publications of the Atmospheric Environment Service (for real-time simulations, wind data near the spill site has to be prescribed). Since the region under study is not very large, uniform wind in the whole region but changing in time, is not an unsatisfactory assumption.

The dispersion of the slick could arise from turbulence, surface and internal waves, variations in winds and currents. Suggestions have been made that turbulence in the wind field is one of the principal contributors to oil slick dispersion (Simons *et al.*, 1975). Hourly wind data at Rivière-du-Loup for the month of November 1972 were used to develop the wind distribution probabilities. Figure 2 shows the directions recorded at this station. The inner most circle indicates the model results of the 16 different directions: N, NNE, NE, ENE, ... On the next circle, the number of observations in each direction during the month (65-north, 120-south, etc.) with no recording of zero speeds is shown. The probability to observe each of these wind directions is evaluated and indicated on the third circle (north wind: 65 observations out of 694, thus the probability is 0,0937; east wind: 26 observations, thus the probability is 0,0374 etc.). The fourth circle shows the probability distribution around the wind rose on a zero to one scale.

To account for the dispersion, a random factor is combined with these probabilities. This random factor may easily be obtained from most computer systems. It is usually an internal function generating values from 0 to 1. These numbers are then associated with the scale defined for the probabilities. As an example, a random number of 0,5 would generate a south wind, etc. We recall that the oil slick is represented as a combination of 5 000 particles. For each of these particles, a random number is generated, and the corresponding wind direction is associated with a given particle. Since the most frequent directions occupy a larger range on the zero to one scale, they will be applied to a larger number of particles, thus giving a drift in that (or those) direction (s). A similar procedure is used for wind speeds (Fig. 3).

Results and discussion

The actual simulation consists of adding the three vectors (due to tidal currents,

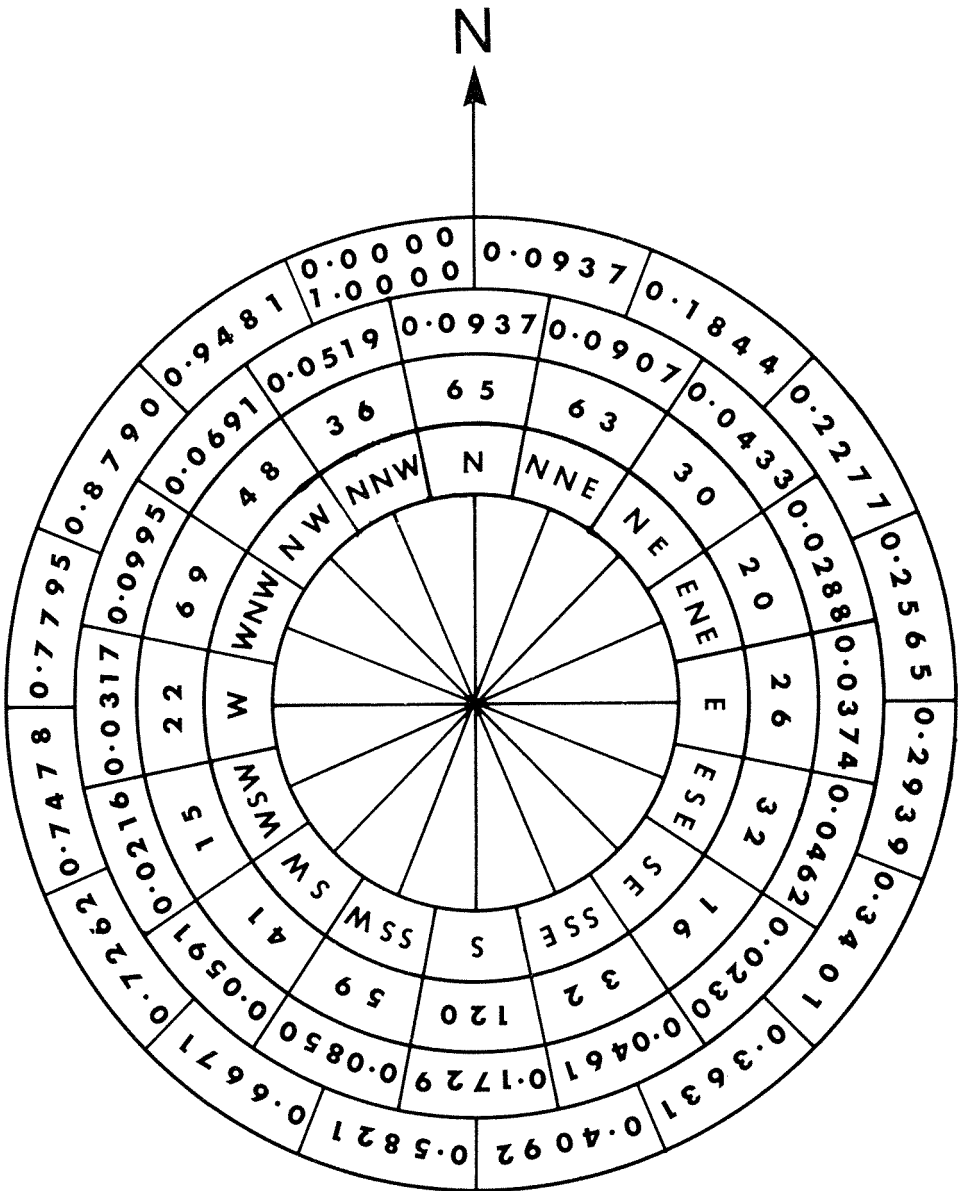


Figure 2. Probability distribution for wind directions observed at Rivière-du-Loup in November 1972.

winds and randomness) to make up the trajectory. One has to consider the question of relative contributions of the three primary factors in making up the trajectory. In most oil slicks studies (Simons *et al.*, 1975), values of about 56% of the tidal current and 3% of the wind are used. The directions are the

same as the instantaneous directions of the tidal current and the wind. For details on the computation of tidal currents see Lévesque (1977). Although one can use a numerical model to calculate the organized wind drift, we felt that using 3% of the wind speed is accurate enough for practical purposes.

TABLE I
Wind speed and direction recorded on November 22 and 23, 1972
in the St. Lawrence Estuary

Date Hour	November 22, 1972		November 23, 1972	
	Speed (knots)	Direction (degree)	Speed (knots)	Direction (degree)
1	15	345	22	220
2	17	345	23	215
3	17	345	28	230
4	17	345	30	225
5	17	345	30	220
6	13	345	30	215
7	10	335	25	230
8	11	315	12	230
9	15	325	5	290
10	15	325	5	290
11	15	325	5	290
12	15	325	5	290

Drapeau *et al.* (1974) gave two trajectories based on two field experiments. We have used one of these trajectories to calibrate our model and the second one to compare with the model results. A subroutine to print the position of the 5 000 particles can be called up at any interval of time. In the output the land (including islands) was shown by four short lines and the water area is left blank. The particles making up the oil slick were shown as follows: for 2 500 particles or more "•••"; 1 500 to 2 500 particles "9" and less than 1 500 particles "8", etc. (Fig. 4). The difference in the number of particles can be interpreted as the thickness or concentration of the oil slick.

The field experiments by Drapeau *et al.* (1974) were performed on November 22 and 23, 1972 in the Ile Verte — Rivière du Loup area. Wind speed and direction measurements were made from a ship which followed the oil slick. Table I lists these measurements which have been used in the present simulation. Figure 4 shows the trajectories given by the wind and the tidal-components separately, and the dispersion obtained at different hours of the simulation. Figure 5 compares our simulated trajectory with the observed trajectory. The calibration factors were found to be 70% of the tidal current speed and 6% of the wind speed. Admittedly our values, especially for the wind speed, are somewhat higher than reported elsewhere. However, these factors were necessary to simulate the spill of

November 22nd. For simulating the spill of November 23rd, the factors needed were 70% of the tidal current and 2% of the wind speed (Fig. 6). Thus in both simulations, the calibration factor for the tidal currents is the same but for wind speed there is disagreement. We traced this discrepancy to the duration of the wind.

Examination of the hourly wind data re-recorded during November 1972 at Rivière du Loup reveals that prior to November 22nd, the wind was blowing more or less in the same direction and at the same speed for two and a half days, whereas during the night between the two spills, that is on the night of the 22nd November, the wind changed direction by 60°. Thus for the first simulation we have a persistent wind whereas for the second one the wind was not persistent. Hence the 6% of the speed required for the first simulation might be a reflection of the influence of the wind persistence. In numerical simulation of oil slick movement, usually no allowance was made for this persistence. Based on these results, we suggest that wind persistence (or duration) has to be treated as one of the primary factors.

Finally, some of the discrepancy between the observed and computed trajectories can be attributed to factors such as the influence of transverse currents, internal tides, hydraulic channel flows and drastic topographic influences not properly resolved by our grid.

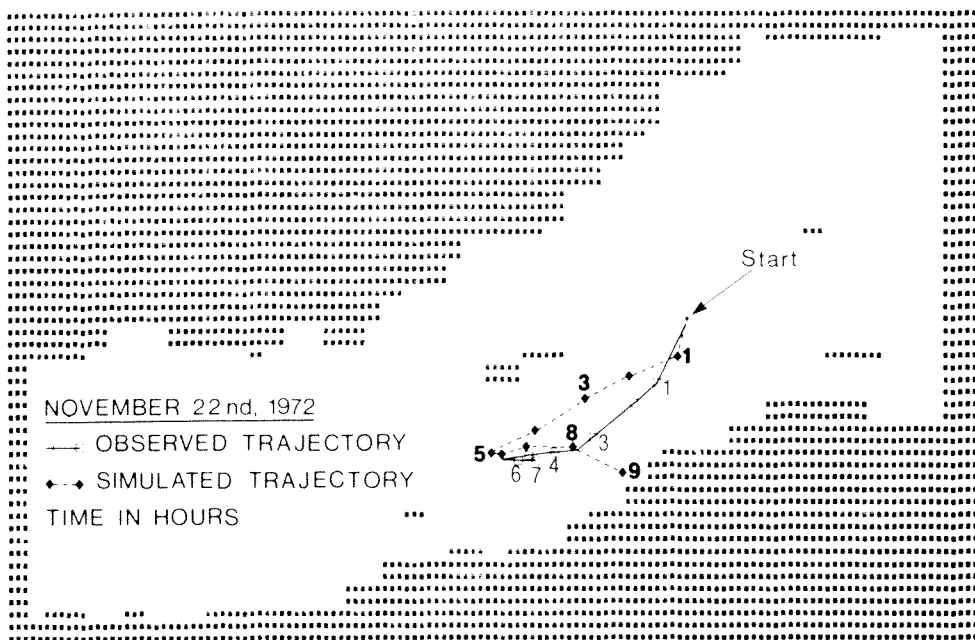


Figure 5. Simulated and observed oil slick trajectories for the first spill on November 22, 1972.

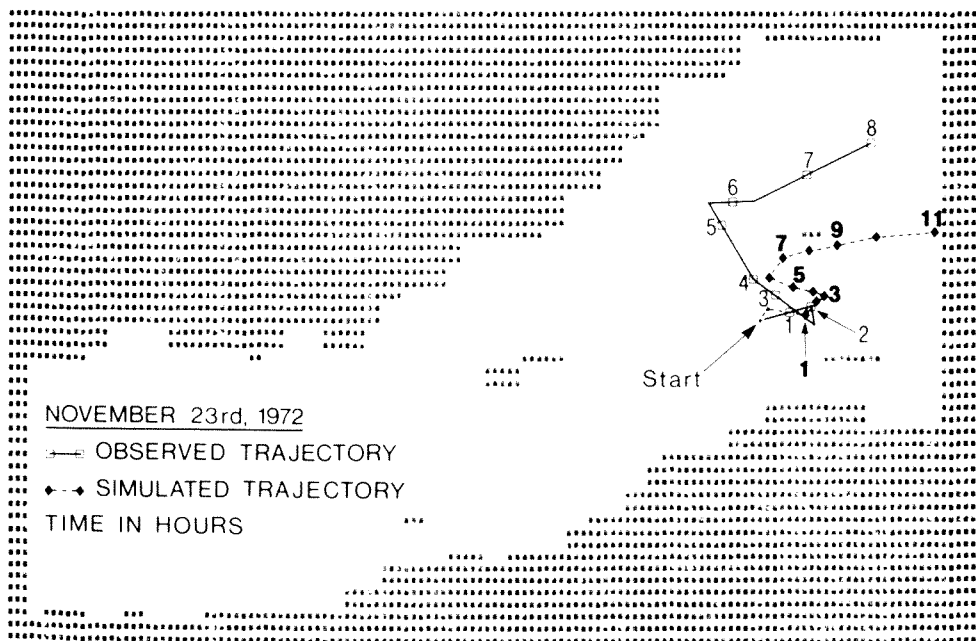


Figure 6. Simulated and observed oil slick trajectories for the second spill on November 23, 1972.

Conclusion

Bien (1973) and Drapeau *et al.* (1974) also numerically simulated the trajectories of the oil slicks corresponding to their two field experiments. As can be seen in Figure 4 of Drapeau *et al.* (1974), the comparison between the observed and simulated trajectories is somewhat less satisfactory than in the present study, which includes at least two additional factors, namely, dispersion of the oil slick and random fluctuations in the wind field. The inclusion of these additional parameters is probably responsible for the better agreement between the observed and computed trajectories as shown in the present study.

The main highlight of this note is to point out that the duration or fetch of the wind field has to be treated as a primary factor. To our knowledge this has not been explicitly stated in the literature on numerical simulation of oil slick trajectories.

Acknowledgements

This study was supported by a team grant from Québec Department of Education (DGES-FCAC) and by the Université du Québec à Rimouski. We thank the Marine Environmental Data Service (MEDS) Ottawa for providing computer facilities and Marie Cogné for typing the manuscript.

References

- BIEN, W., 1973. Modeling Petroleum spills at supertanker ports. — M.Sc. thesis Univ. Toronto, 122 p.
- DRAPEAU, G. W. HARRISON, W. BIEN and P. LIMONON, 1974. Oil slick fate in a region of strong tidal current. — Proc. 14th int. Conf. Coastal Eng., p. 2245-2259.
- FORRESTER, W. D., 1974. Internal tides in the St. Lawrence Estuary. — J. mar. Res., 32(1): 55-66.
- LEVESQUE, L., 1977. Étude du modèle mathématique de la propagation des marées dans l'Estuaire du St-Laurent. — Sect. d'Océanographie, Univ. du Québec à Rimouski, Cah. Inf., N° 2: 161 p.
- NEU, H. A. J., 1970. The hydrodynamics of Chedabucto Bay and its influence on the "Arrow" oil disaster. — Bedford Inst. AOL unpubl. manusc. Rep. N° 1970-6: 25 p.
- SIMONS, T. J., G. S. BEAL, K. BEAL, EL-SHAARAWI and T. S. MURTY, 1975. Operational model for predicting the movement of oil in Canadian navigable waters. — Mar. Sci. Direct., Canada, Dep. Envir. Rep. N° 37: 30 p.
- STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — Mar. Sci. Center, McGill Univ. manusc. Rep. N° 26, 116 p.
- WILKINSON, D., 1971. Containment of oil slicks in the St. Lawrence River. — Gouv. Canada, Div. génie méc., Rapp. non publié N° LTR-HY-16, 12 p.

WATER MASS MODIFICATION IN THE ST. LAWRENCE ESTUARY¹

R. Grant INGRAM

*Marine Sciences Centre (GIROQ) McGill University,
3600 University Street, Montréal, Québec, H3A 2T8*

Résumé

Les variations de température et de salinité des eaux de la partie amont du chenal laurentien ont été étudiées durant un cycle annuel complet. Les températures les plus chaudes de la nappe glaciaire intermédiaire furent obtenues en hiver. Les températures les plus froides, obtenues au printemps, sont dues à l'advection vers l'amont d'eau en provenance du golfe du Saint-Laurent, à une température inférieure à zéro. L'importance relative de la diffusion verticale et de l'advection horizontale dans la nappe intermédiaire au printemps et en été est discutée. On présente aussi la circulation moyenne à la surface et dans la nappe intermédiaire dans la région d'étude.

Abstract

From observations taken during spring, summer and winter at the head of the Laurentian Channel, variations of the temperature and salinity fields over the annual cycle are examined. The cold intermediate layer is found to be the warmest in early winter. Four months later, upstream advection of sub-zero water from the Gulf of St. Lawrence produces the lowest temperature values observed. The relative importance of vertical diffusion and horizontal advection in this layer during spring and summer is discussed. Mean circulation in both the surface and intermediate layers of the study area is presented.

Introduction

Recent studies by Steven (1974), Theriault and Lacroix (1976) and Greisman and Ingram (1977) have attributed the relatively high bioproductivity of the St. Lawrence estuary to the introduction of nutrients into the euphotic zone from the deeper intermediate layer of the Laurentian Channel (Fig. 1). This input results from the combined effect of subsurface isopycnal shoaling and tidal induced mixing near the end of the channel (Greisman and Ingram, 1975). Thus, the characteristics of the intermediate layer influence the observed properties of the surface waters in the lower St. Lawrence estuary. The main aim of the present study is to describe seasonal changes of the intermediate layer at the head of the Laurentian Channel. The general circulation and characteristics of the surface layer in this area will also be discussed.

Data used in the study came from observations made in the spring and summer of

1973, as well as in the winter of 1974 (Fig. 1). Most of these were obtained from moored Aanderaa and Braincon current meters. Some of the Aanderaa instruments had conductivity and pressure sensors in addition to velocity and temperature. All instruments were moored and recovered by the Bedford Institute of Oceanography under the supervision of W. Forrester and E. Hassan. STD (salinity-temperature-depth) profiles were also taken in the summers of 1973 and 1974 by our group, to complement the current meter records. Some BT (bathythermograph) data were obtained from the Canadian Oceanographic Data Centre, so as to describe the temperature characteristics during the fall of the year.

Characteristics of the intermediate layer

On examining an STD profile taken in July 1973 at station A, a distinct sub-surface temperature minimum can be observed in the

¹ Contribution to the program of GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec)

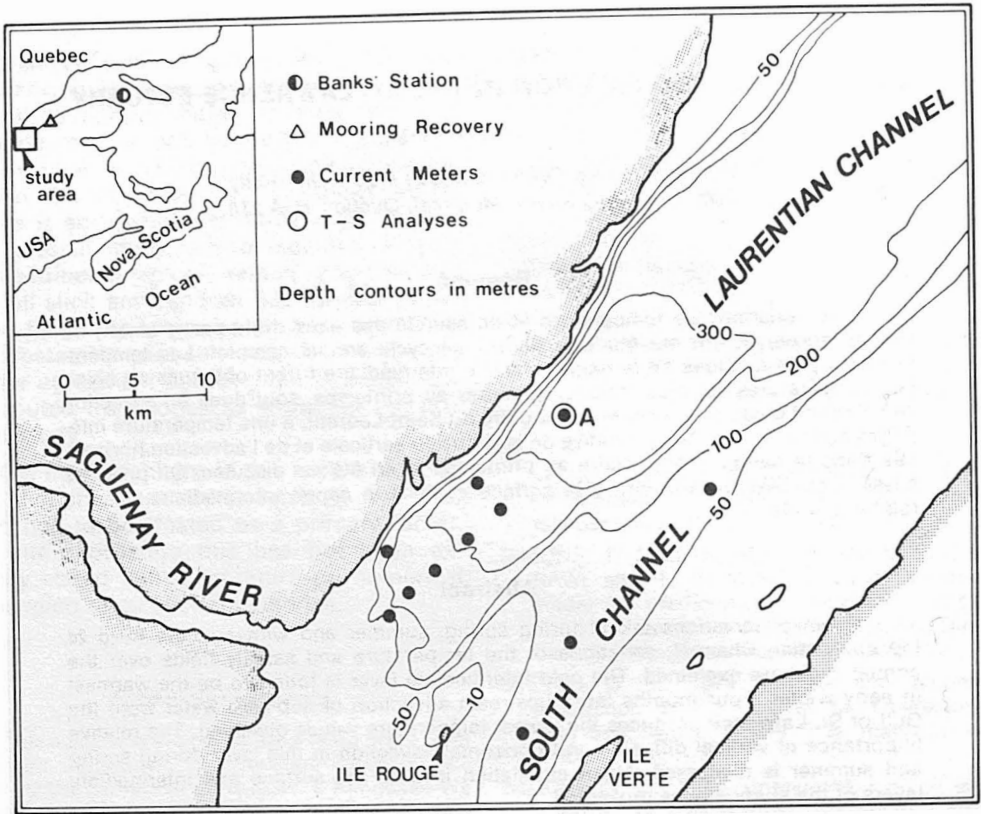


Figure 1. Place map of study area. Bathymetry upstream of Ile Rouge and in Saguenay River not shown.

50-60 m depth range (Fig. 2). Both Banks (1966) and Forester (1964) have examined a layer with similar characteristics in the Gulf of St. Lawrence and concluded that it was formed *in situ* during the winter at approximately the freezing temperature for the salinities (~ 32,5‰) found at the base of the mixed layer. The layer is then isolated during spring, summer and fall by both warmer and fresher waters at the surface. Bottom waters (> 200 m) typically have temperatures of 3-4°C and salinities of ~ 34‰ throughout the year.

Although the characteristics of the intermediate layer do not exhibit major changes similar to those occurring at the surface, they are variable over both short and long periods of time, as well as in space. Both Forrester (1974) and Ingram (1975) showed that because of the presence of a seaward propagating semi-diurnal (M_2) internal tide, vertical oscillations of upto 50 m and more of the layer are common in the area of station

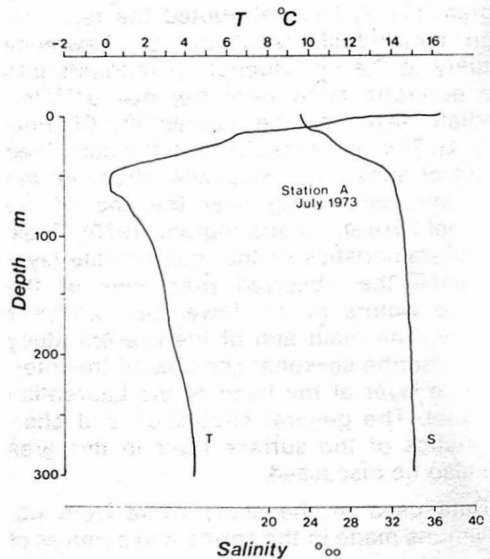


Figure 2. Temperature and salinity profiles at station A.

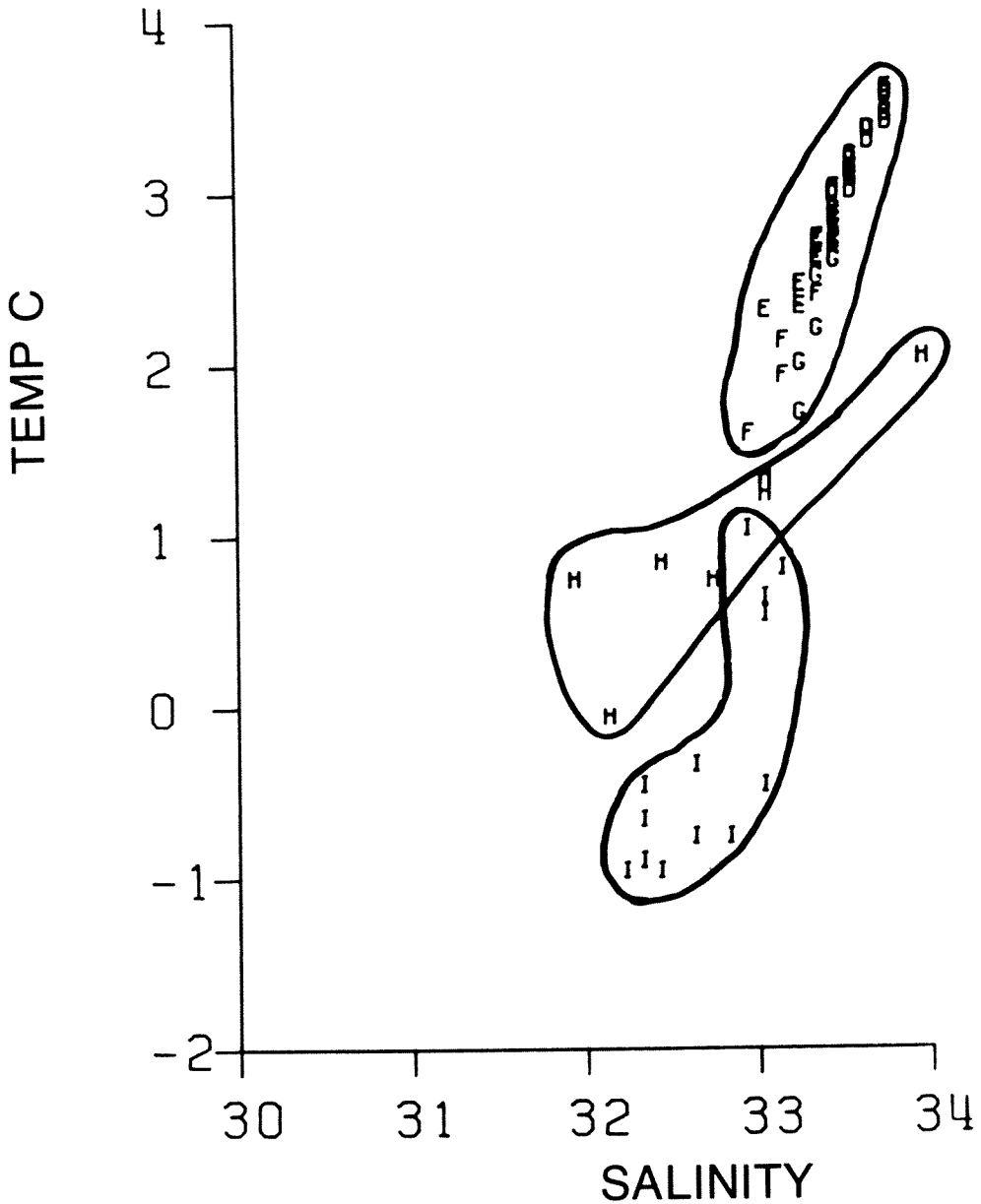


Figure 3. T-S diagram showing hourly values at station A over the M_2 tidal cycle at a depth of 100 m. D: 18 Jan. 1974, E: 8 Feb. 1974, F: 23 Feb. 1974, G: 6 Mar. 1974, H: 3 July 1973, I: 13 May 1973.

A. Furthermore, changes in curvature of the temperature profile (i.e. step structure) over a semi-diurnal period are common in the 25-150 m depth range. Transverse motions of the entire layer have also been observed (Jordan and de la Ronde, 1974). Since the amplitude of the baroclinic motion is related to the size of the surface tide, the vertical range of the intermediate layer oscillations varies over the fortnightly tidal cycle.

Although the position of the layer fluctuates over the M_2 tide cycle, its mean characteristics change slowly over the year. For example, the hourly values of temperature and salinity over an M_2 cycle plotted in Figure 3 for six different periods in 1973 and 1974 fluctuate widely within the individual records, but the range of variation of average salinity is quite narrow. Significant temperature changes are apparent between

seasons. Although the data sets shown in Figure 3 are not the most suitable ones to examine minimum temperature values, they do show the coldest water occurring in May and the warmest in January. The variability of the T-S characteristics over a tide cycle is related to the amplitude of the internal oscillations at 100 m depth.

To accurately determine the variability of the temperature field within the intermediate layer over an annual cycle, one would require numerous STD casts at regular intervals. Because of the associated logistical requirements, a program such as this is not feasible at present. Fortunately, the presence of large internal tides in the estuary allows one to sample T-S properties within a large interval of the water column from an instrument moored at fixed depth. Sampling every 20 minutes in winter and 10 minutes in spring, the Aanderaa instruments recorded both temperature and salinity values at a fixed depth. Data obtained in this manner at station A are shown in Figure 4 for both the winter and spring periods. Values from the surface and intermediate layers have been lumped together in each graph to provide an overall view of the T-S characteristics. It is interesting to note the overlap of values in the upper 100 m even though the instruments are separated by over 50 m in depth. This results from the internal motion discussed above. Also plotted near the base of Figure 4 is a line corresponding to the freezing point of sea water. Two sets of points are included in the winter data, the dots representing data collected after the mooring broke up on 7 March 1974. These values were recorded at a depth of 1 m as one of the instruments drifted under the buoyancy float from station A to the recovery site shown in Figure 1 and on the bottom (320 m) at the mooring position from the current meter originally located at 100 m depth. The first record following the breakup showed a surface salinity of 32,1‰.

One interesting feature of Figure 4B is the absence of any freezing temperatures at station A throughout the winter. Assuming that surface salinities were not markedly different from those at 15 m or less than 24,7‰ in January and February, then one can infer that no ice is formed in this region. The presence of water with T-S characteristics unfavorable for ice creation during winter at station A is in marked contrast to conditions in the Gulf of St. Lawrence (Forrester, 1964). Freezing temperatures

were observed during the last day of free drift, on the south shore near Rimouski. The spring data (Fig. 4A) reveals a distinct temperature minimum at a salinity of ~32‰. Surface waters are, of course, much warmer and fresher at this time of the year. The wide scatter of the lower salinity points reflects the significant changes occurring in both atmospheric temperature and fresh water runoff between early May and late June.

By combining minimum temperature information from the two moorings at station A and data obtained (for various years) from the Canadian Oceanographic Data Centre for the region of the Laurentian Channel between station A and the upstream limit of the slope, an interpolated curve of minimum temperature values for the intermediate layer was constructed (Fig. 5). Although subject to much scatter, the minimum values are extrapolated to be in late April, while the highest temperatures occur in December. Salinity values in the layer were between about 32 and 32,5‰. The individual points plotted in Figure 5 were obtained using two different techniques. The points labelled as CODC were estimated from BT data, similar to the temperature profile shown in Figure 2. The remaining points (Aanderaa) were obtained by examining T-S values, from the moorings, over thirteen hour periods for distinct temperature minima within a range of steadily increasing salinity.

It is interesting to compare (see Fig. 5) the prediction of when the coldest temperatures occur at station A to that estimated by Banks (1966) for the Gaspé Passage station shown in Figure 1. On examining a number of different years he found the minimum values to occur regularly in late February plus or minus two weeks. Thus, the occurrence of the minimum temperature at the upper end of the Laurentian Channel lags by some 70 days the occurrence of the coldest temperatures at the Gaspé Passage. In order to understand the reason for this delay it is necessary to examine the circulation characteristics of the region.

Horizontal advection and vertical diffusion in the intermediate layer

In Figure 6, the mean current vectors within the layer at the head of the Laurentian Channel are shown for winter and spring. The plotted values represent averages calculated over an integral number of lunar

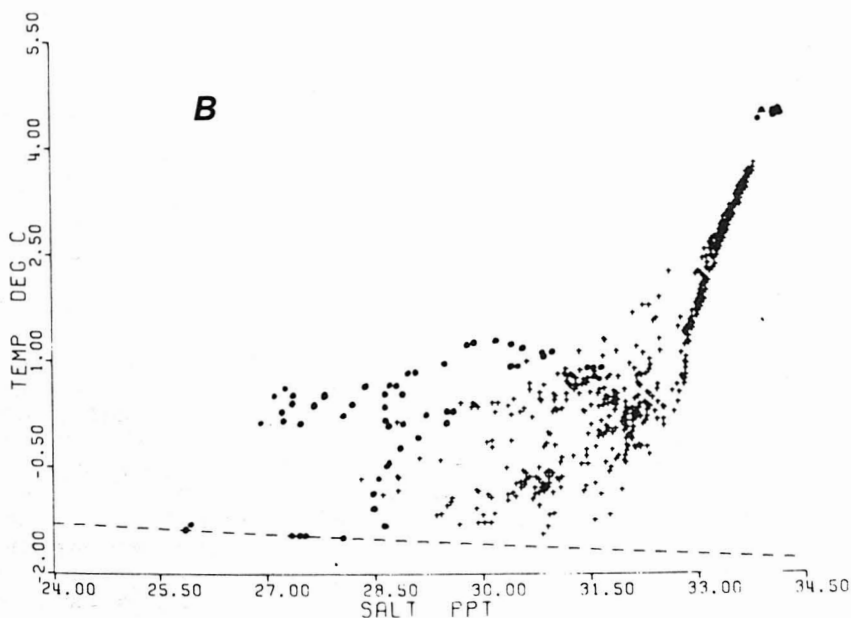
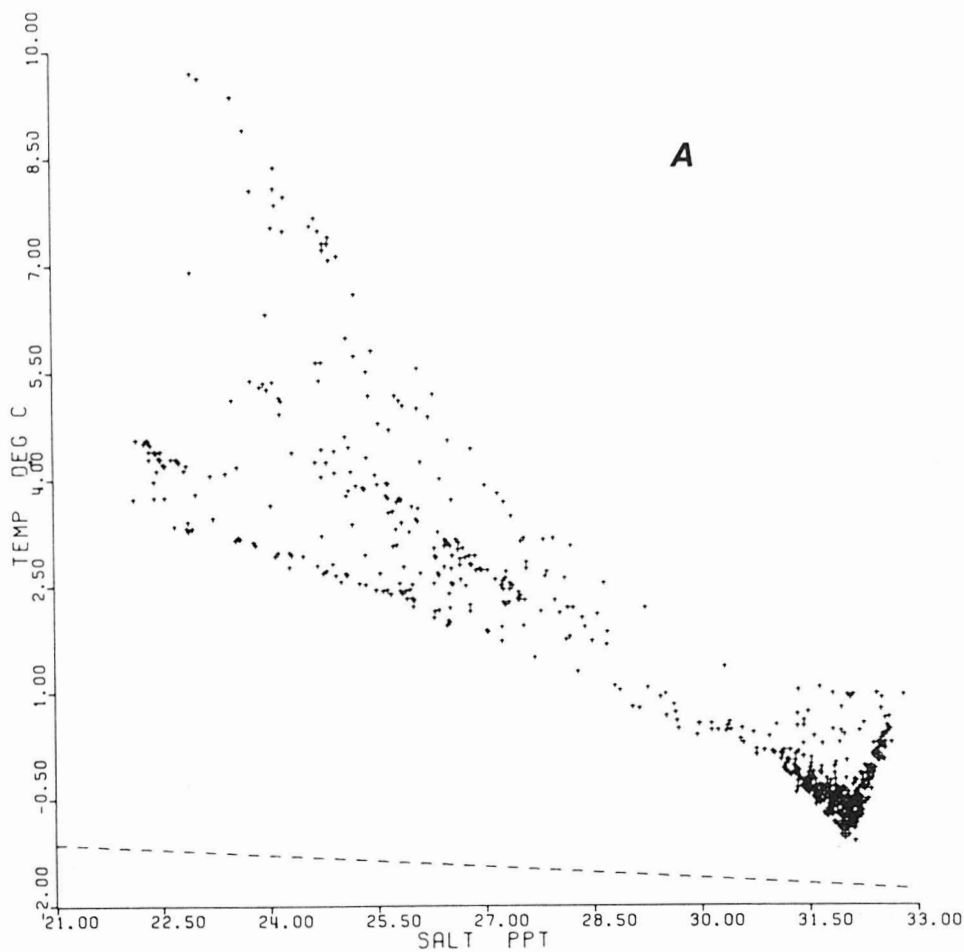


Figure 4. T-S diagrams for data collected at station A (5% of recorded values are plotted): A. May-June 1973 at depths of 15 and 65 m. B. Jan.-March 1974 at depths of 15 and 100 m, dots represent surface and bottom data in March 1974. Broken line shows freezing point for sea water.

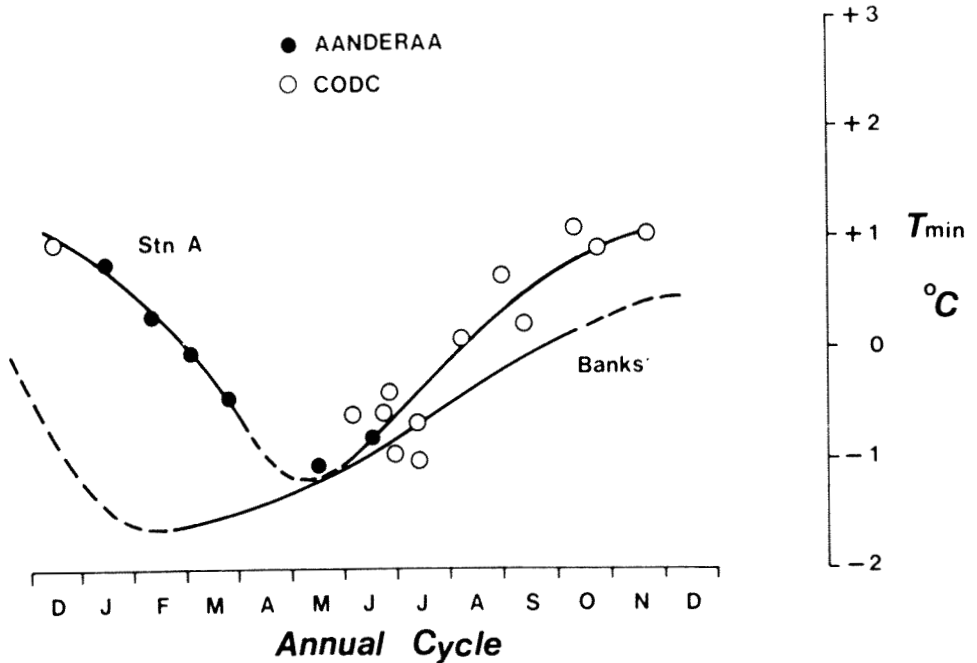


Figure 5. Minimum temperature of cold intermediate layer over an annual cycle as determined at station A and by Banks at Gaspé Passage station. Broken lines show extrapolation.

fortnightly tide cycles (the sampling period was 20 min over 56 days in winter and 10 min over 37 days in spring). Flow is upstream over the deeper areas in both spring and winter. On the slope region, NNW of Ile Rouge, a convergence of the axial velocity component can be seen at a depth of 90 m, and a region of not net current adjacent to the north shore during spring. The convergence over the slope region implies the existence of flow at right angles to the channel axis, either cross-channel flow along the 100 m isobath and/or vertical motion. The two winter stations show a similar inward circulation, although the magnitude at station A is a third of the spring value. At this same location, mean currents below 250 m were typically 2 cm/sec and directed upstream in both seasons.

As most of the data used in constructing Figure 5 were obtained at station A, current values at this same site will be used in calculating the mean advective rates. We shall assume continuity of the intermediate layer in the Laurentian Channel and a constant layer thickness in a tidally averaged sense. In order to calculate the time necessary for a parcel of water within the layer to travel between Banks' Gaspé Passage station and station A, the following assumptions will be

made. First, that the mean velocity varies linearly with the width of the 100 m isobath along the Laurentian Channel. Secondly, that the current values obtained at station A in late winter and mid-spring can be simply averaged to provide a representative axial velocity for the period from early March to mid-May. By extrapolating velocity values along the central axis of a fictitious trapezoid formed between the two stations and the 100 m isobath, a mean axial value for the entire area can be calculated. The estimate obtained in this manner is 6.2 cm/sec in an upstream direction. Since no other data have been collected in this area during the late winter-early spring period, it is not possible to determine the accuracy of this value. However, estimating the mean velocity of a large section such as this from a single observation is highly speculative. Since the horizontal separation between stations is approximately 400 km, the time required for a parcel of water to travel this distance using the calculated speed is 75 days. The lag, so determined, is consistent with the estimate of 70 days, computed solely from minimum temperature comparisons in the previous section. Thus, from the simple calculations presented above, it is suggested that the cold intermediate layer found at the head of

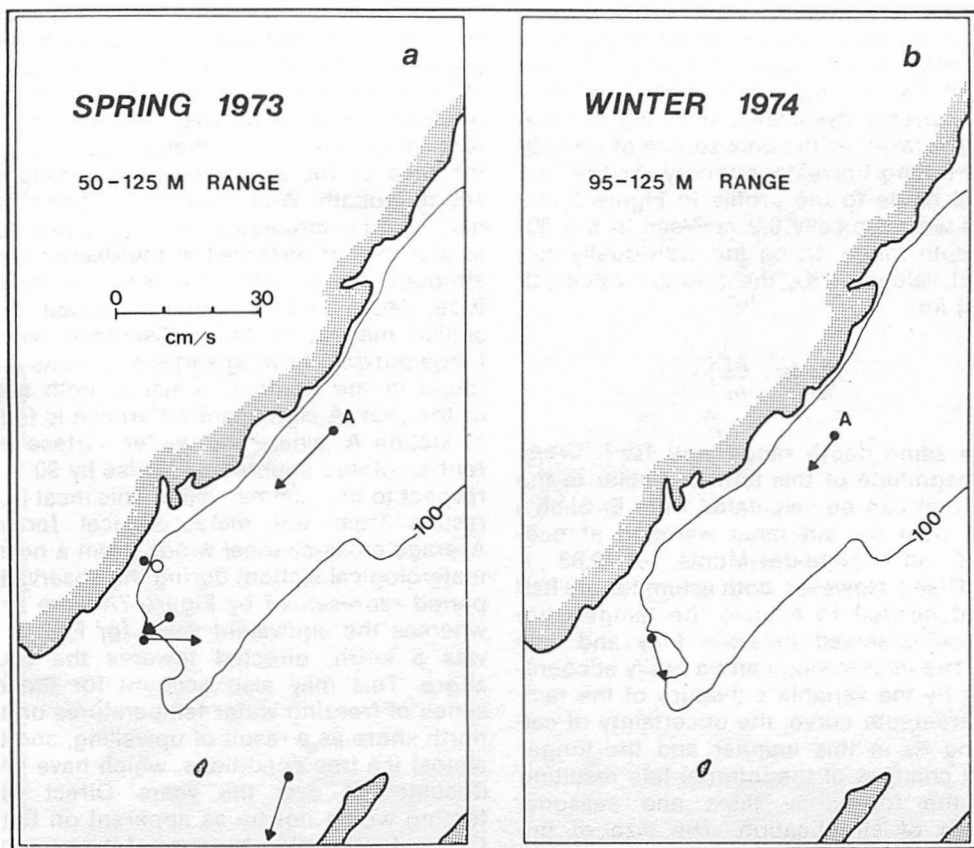


Figure 6. Residual current vectors in the intermediate layer. Partial bathymetry shown.

the Laurentian Channel is not formed locally but is advected from the Gulf of St. Lawrence.

In both Figures 3 and 5, it is apparent that the minimum temperature values increase steadily from April through December. Although a similar trend can be observed in Banks' data from the Gaspé Passage, temperatures there were always less than those at station A and the slope of temperature-time curve smaller. In an attempt to explain these differences, the diffusive characteristics at the head of the Laurentian Channel will be examined. The conservation of heat can be expressed as:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \cdot \nabla T = K_x \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right]$$

where u is the three dimensional velocity vector
 x, y are the horizontal coordinates
 z is the vertical coordinate
 T is temperature

K_x, K_z are the horizontal and vertical eddy diffusion coefficients
 t is time

We shall only compare magnitudes of the first two terms and the last term, thus excluding horizontal diffusion from the discussion. Although the latter term may be important, it was not possible to obtain even a rough estimate of the horizontal diffusion coefficient and its spatial variability. In order to investigate the vertical diffusion term,

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right]$$

the STD profile shown in Figure 2 was used to determine both the temperature and the density dependence on depth. K_z was calculated using the technique suggested by Jones (1973). In this approach, the diffusion coefficient varies as a function of the local Richardson number. The Richardson number was evaluated using approximations

employed by Forrester (1974) in his internal tide theory. This included an assumption of exponential depth dependence of the density field. In the present calculation, the baroclinic currents associated with the internal tide were taken as the only source of velocity shear. Fitting Forrester's theory for the first vertical mode to the profile in Figure 2, K_z values were typically $0.2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ in the 50-100 depth range. Using the individually calculated values of K_z , the average value (15 points) for

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right]$$

in the same depth range was $10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}/\text{sec}$. The magnitude of this term is similar to the value that can be calculated from El-Sabh's (1975) data for autumnal warming at mid-depths off Pointe-des-Monts, of $0.83 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}/\text{sec}$. However, both estimates are half of that needed to explain the temperature increase observed between May and July 1973. The imprecision can be easily accounted for by the variable curvature of the temperature-depth curve, the uncertainty of calculating K_z in this manner and the longer period changes of the internal tide resulting from the fortnightly tides and seasonal changes of stratification. The size of the vertical diffusion term on the underside (100-150 m) of the intermediate layer was two orders of magnitude smaller than that estimated for the upper interval. The horizontal advection term, $u \frac{\partial T}{\partial x}$, was larger than the

calculated value for vertical diffusion in the spring, but the same order of magnitude. Although the longitudinal temperature gradient was smaller during summer and fall, the contribution of horizontal advection to temperature changes at station A was negative throughout the year.

Surface circulation

From the work of Greisman and Ingram (1977) it is apparent that part of the intermediate layer water is upwelled with a semi-diurnal periodicity where it mixes with the surface layer. Using this assumption, they estimated that 75% of the surface nutrients found in the upper maritime estuary are derived from the intermediate layer. Because of the impact of the intermediate layer on surface characteristics in this region, the upper layer circulation is of interest.

In Figure 7, the mean current vectors in the upper 30 m have been plotted from available data in spring 1973 and winter 1974. In the latter period, only two sets of observations were useable. Similar to the intermediate layer, flow reversal took place in the area of the slope region adjoining the 100 m isobath. Within the Laurentian Channel, surface circulation during spring was similar to that observed in the deeper layer, although the former were larger in magnitude. Mean values were calculated in a similar manner to those discussed earlier. Large outward flowing surface currents were found in the South Channel at both times of the year. A significant difference is found at station A, where the winter surface current is rotated counter-clockwise by 90° with respect to the summer value. This most likely results from the meteorological forcing. Average cross-channel winds (from a nearby meteorological station) during the observation period represented by Figure 7A were zero, whereas the equivalent value for Figure 7B was $5 \text{ km}/\text{h}$, directed towards the south shore. This may also account for the absence of freezing water temperatures on the north shore as a result of upwelling, and the almost ice free conditions, which have been documented over the years. Direct wind forcing would not be as apparent on South Channel circulation because of the presence of drift ice in higher concentrations. This distribution results both from local circulation and wind drag. Regardless of the dynamics at work, the modified version of the upwelled water in the area of station A is transported cross-channel and then back down the estuary on the south shore.

It is instructive to combine the circulation data in Figures 6A and 7A, to examine in an approximate way the total transport of the water column at station A during spring. As previously mentioned, currents at a depth of 305 m were $2 \text{ cm}/\text{sec}$, directed upstream, during this same period. Thus, at all three observation depths, the currents are directed inward. If the isopycnal tilt across this section of the Channel is similar to that found 60 km downstream by Sinclair *et al.* (1976) in May 1973, then one can assume that the flow at station A was upstream at all depths. If so, the free surface is convex with a higher (by about 4 cm) mean sea level in the centre of the estuary than on either side. Assuming a depth averaged mean current of $7 \text{ cm}/\text{sec}$ (exponential decay of mean velocity with depth), upstream, gives a total transport of

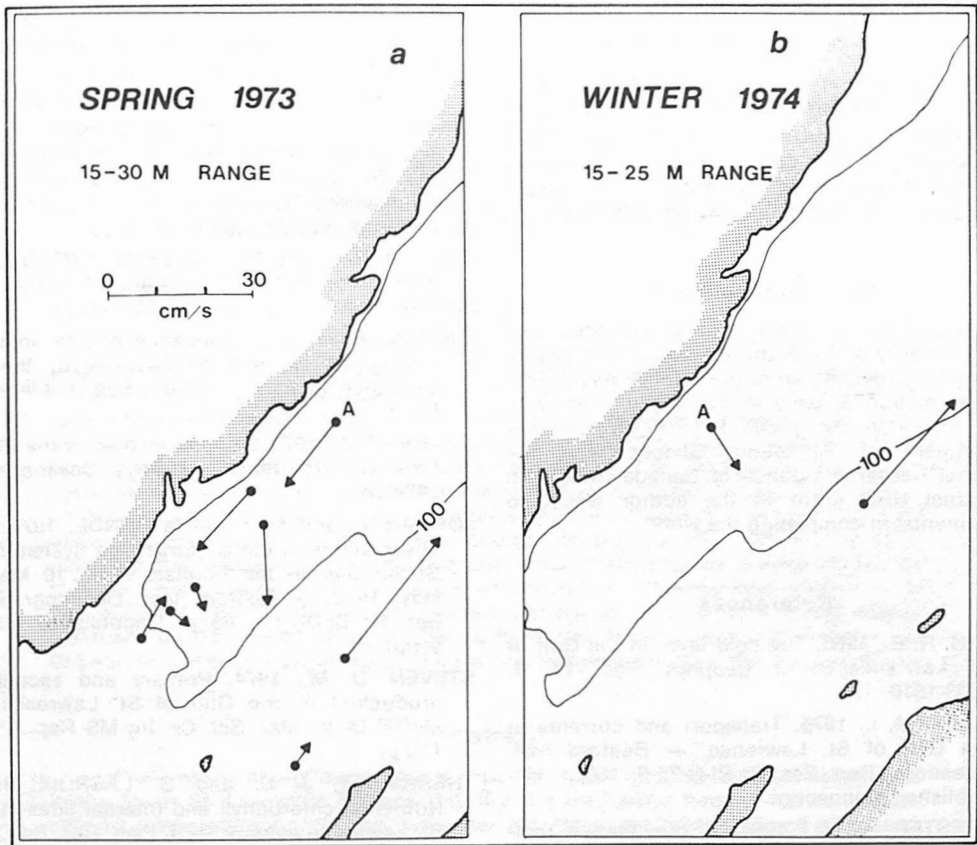


Figure 7. Residual current vectors in the surface layer. Partial bathymetry shown.

some $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{s}$ for an 8 km current width. For flow continuity, a similar transport must occur on the southern side in a downstream direction. Because of the shallower topography, the depth averaged mean current would be about 20 cm/s on the southern side. This value compares well with the few observations available. The above transport figures are about an order of magnitude greater than the river transport, which was $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ in May 1973.

Summary

- 1) The intermediate layer of the St. Lawrence Estuary is formed by the advection of cold water from the Gulf of St. Lawrence during late winter. Because of the travel time involved, coldest temperatures at the head of the Laurentian Channel are observed in April, while the warmest conditions are found in December.
- 2) Flow in the intermediate layer is upstream over the central Laurentian Channel and

continues so up half of the slope at its termination. Convergence of the axial components of the velocity field occurs adjacent to the 100 m isobath. Currents at station A were much larger in spring than in winter, the ratio being approximately the same as that of the fresh water outflows.

- 3) Vertical diffusion contributes to the warming of the intermediate layer at its upper boundary, but not at a rate sufficient to explain the observed warming in mid-summer. Mixing was assumed to result from the velocity shear associated with the internal tide. The presence of the internal tide is also responsible for the observed large vertical excursions of the layer.
- 4) No freezing temperatures were observed at the head of the Laurentian Channel during the 1974 winter. This may have resulted from wind induced upwelling. In contrast, freezing temperatures were recorded close to the south shore during

early March. This distribution is reflected in the observed ice concentrations.

- 5) The net transport over the water column in the northern half of the estuary, at station A, is upstream. From continuity arguments, one can infer the existence of large downstream currents on the south shore. Observations confirm this finding.

Acknowledgements

I would like to thank Warren Forrester and Doug Gregory of the Bedford Institute of Oceanography for providing all of the velocity data, other than at station A, used in this study. This work was supported by grants to GIROQ from the Department of Education, Québec, and the National Research Council of Canada (NRC). An individual NRC grant to the author was also instrumental in completing the work.

References

- BANKS, R. E., 1966. The cold layer in the Gulf of St. Lawrence. — *J. geophys. Res.*, 71, 6, 1603-1610.
- EL-SABH, M. I., 1975. Transport and currents in the Gulf of St. Lawrence. — Bedford Inst. Oceanogr. Rep. Ser. N° BI-R-75-9, 180 p. Unpublished manuscript.
- FORRESTER, W. D., 1964. A quantitative temperature-salinity study of the Gulf of St. Lawrence. — Bedford Inst. Oceanogr. Rep. N° BIO-64-11, 16 p. Unpublished manuscript.
- FORRESTER, W. D., 1974. Internal tides in St. Lawrence estuary. — *J. mar. Res.*, 32, 55-66.
- GREISMAN, P. and R. G. INGRAM, 1975. Physical processes bearing upon the productivity in the St. Lawrence Gulf-Estuary system. — Atmosphere, Spec. Issue, 9th Ann. Congr. Can. Meteorol. Soc., p. 36 (Abstr. only).
- GREISMAN, P. and R. G. INGRAM, 1977. Nutrient distribution in the St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34(11): 2117-2123.
- INGRAM, R. G., 1975. Influence of tidal induced mixing on primary productivity in the St. Lawrence estuary. — *Mém. Soc. r. Liège*, 7: 59-74.
- JONES, H. J., 1973. Vertical mixing in the Equatorial Undercurrent. — *J. Phys. Oceanogr.*, 3: 286-296.
- JORDAN, F. and M. S. de la RONDE, 1974. T-S observations in the St. Lawrence System from Goose Cap to the Scotian Shelf, 10 May-23 May, 1973. — Bedford Inst. Oceanogr. Data Ser. N° BI-D-74-4. 65 p. Unpublished manuscript.
- STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — McGill Univ., Mar. Sci. Centre MS Rep. N° 23, 116 p.
- TERRIAULT, J. C. and G. LACROIX, 1976. Nutrients, chlorophyll and internal tides in the St. Lawrence estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 2747-2757.

THE LOWER ST. LAWRENCE ESTUARY AS A PHYSICAL OCEANOGRAPHIC SYSTEM

Mohammed I. EL-SABH

*Département d'Océanographie, Université du Québec à Rimouski,
300 Avenue des Ursulines, Rimouski, Qué. G5L 3A1*

Résumé

À partir d'observations effectuées sur plusieurs stations dans l'estuaire maritime du St-Laurent, nous présentons et discutons un ensemble de données pour la détermination du bilan d'eau douce, de la couverture de glace, de la distribution de la salinité et la température, et de la circulation des masses d'eau. Nous décrivons le caractère complexe de la circulation résiduelle dans l'estuaire et proposons un modèle de circulation superficielle en été. Les caractéristiques principales de la circulation superficielle dans l'estuaire maritime du St-Laurent sont: un écoulement vers le sud d'eau de surface tiède et peu dense provenant du fjord de la Saguenay; ce courant rejoint le courant de surface vers l'est le long de la côte sud de l'estuaire; une remontée des eaux intermédiaires froides et salines près de l'embouchure de la Saguenay; un tourbillon anticyclonique entre Pointe-des-Monts et l'île du Bic, et un courant transversal vers le nord d'une vitesse résiduelle de 0,6 nœuds observé près de Rimouski. Nous comparons l'estuaire du St-Laurent à d'autres estuaires et faisons des suggestions pour des travaux futurs.

Abstract

From observations made at a number of oceanographic stations established in the lower St. Lawrence Estuary, data for the freshwater budget, ice conditions, salinity, temperature distribution and water circulation are presented and discussed. The complex character of the residual circulation within the estuary is demonstrated and a typical summer surface circulation pattern is proposed. The main features of the surface circulation in the lower St. Lawrence Estuary are: an outflow of warm, less dense, surface water from the Saguenay Fjord which sets southward to join the eastward surface current along the south shore of the estuary; an upwelling of the intermediate depth, cold, saline waters near the mouth of the Saguenay; a clockwise gyre between Pointe-des-Monts and Ile du Bic and a frequent northward transverse currents observed near Rimouski with a mean residual velocity of 0,6 knots. Comparison with other estuaries is made and suggestions for future work are presented.

Introduction

The St. Lawrence Estuary (Fig. 1) with an area of 10,800 km² is the region where the waters of the Atlantic and those of the Great Lakes come together. Using the definition provided by Forrester (1967), the estuary begins at the upper limit of the salt water intrusion near Québec City, and extends 400 km downstream to Pointe-des-Monts, where its channel suddenly opens into the Gulf of St. Lawrence. Five hundred km from the Great Lakes and nearly 1000 from the Ocean, it is a middle ground generally characterized by waters abundant in life. Historically the St. Lawrence Estuary formed the first section of the navigation routes

which led to the settlement and development of much of Canada and central U.S.A. Today the estuary is still a vital artery to these areas forming a navigable waterway from the Atlantic Ocean to the ports of Québec and Montréal and through the St. Lawrence Seaway into the Great Lakes. In addition, the power of the tributary rivers is harnessed for the generation of electricity and much use is made of the estuary waters for industrial and domestic purposes.

Although a recent bibliography of physical oceanographic work in the St. Lawrence Estuary (El-Sabh, 1976) lists as the earliest scientific publications one on surface temperature by Kelly in 1836, oceanographic

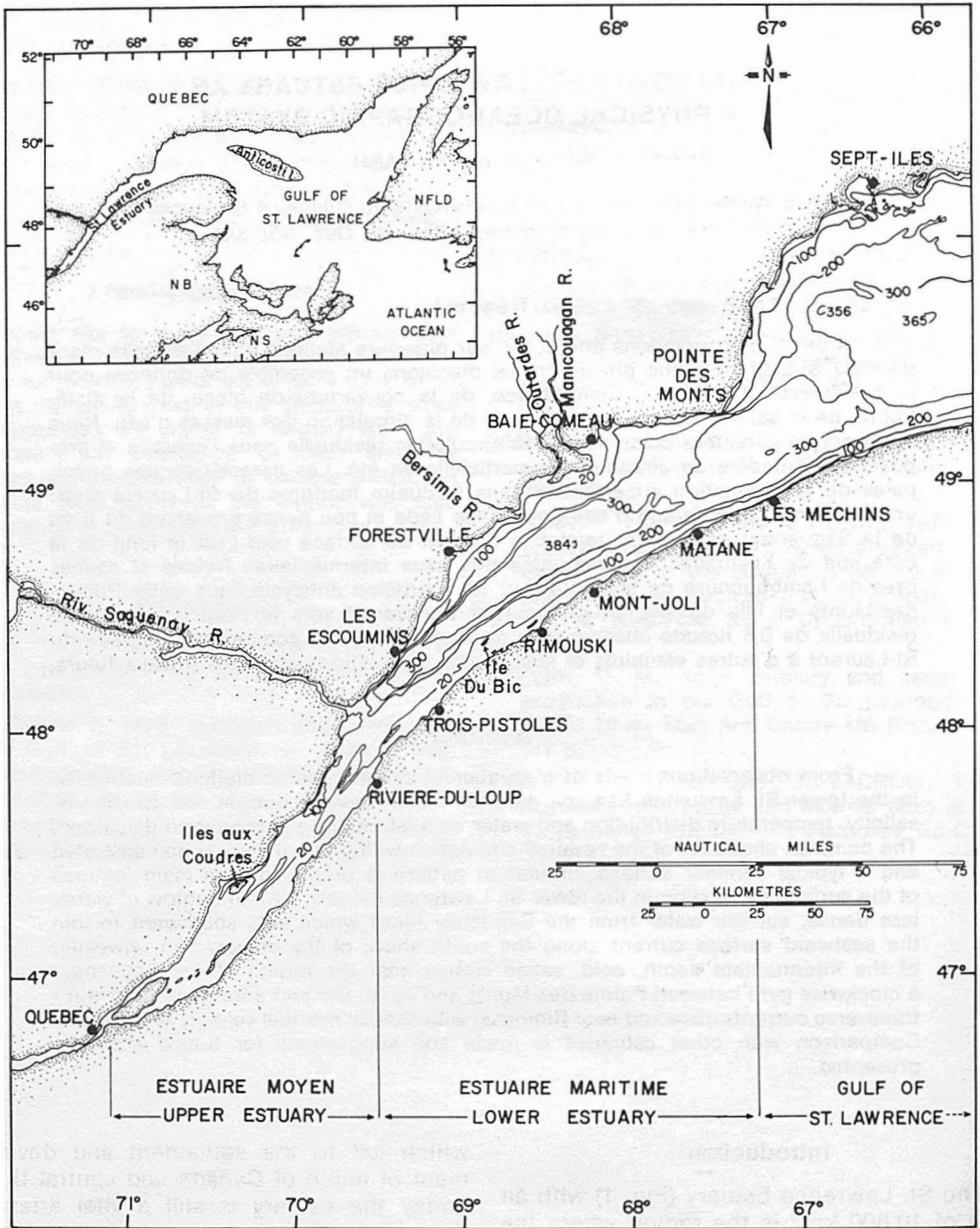


Figure 1. Map of the St. Lawrence Estuary.

research in the lower estuary really started with Laval University's Station biologique du Saint-Laurent à Trois-Pistoles between 1931 and 1938. Since 1973 major scientific field programs were carried out cooperatively by the different oceanographic groups in eastern Canada in order to obtain more knowledge and understanding of the dynamics of the lower estuary. In spite of these efforts, the St. Lawrence Estuary is rarely referred to in

estuarine treatises. The recent book by Officer (1976), which includes a broad survey of worldwide field studies in over sixty estuaries, fails to even mention the St. Lawrence. An attempt is made in this paper to summarize briefly the present state of knowledge on the lower St. Lawrence Estuary as a physical system and thereby enabling one to place it in a better perspective relative to other major estuaries in the world.

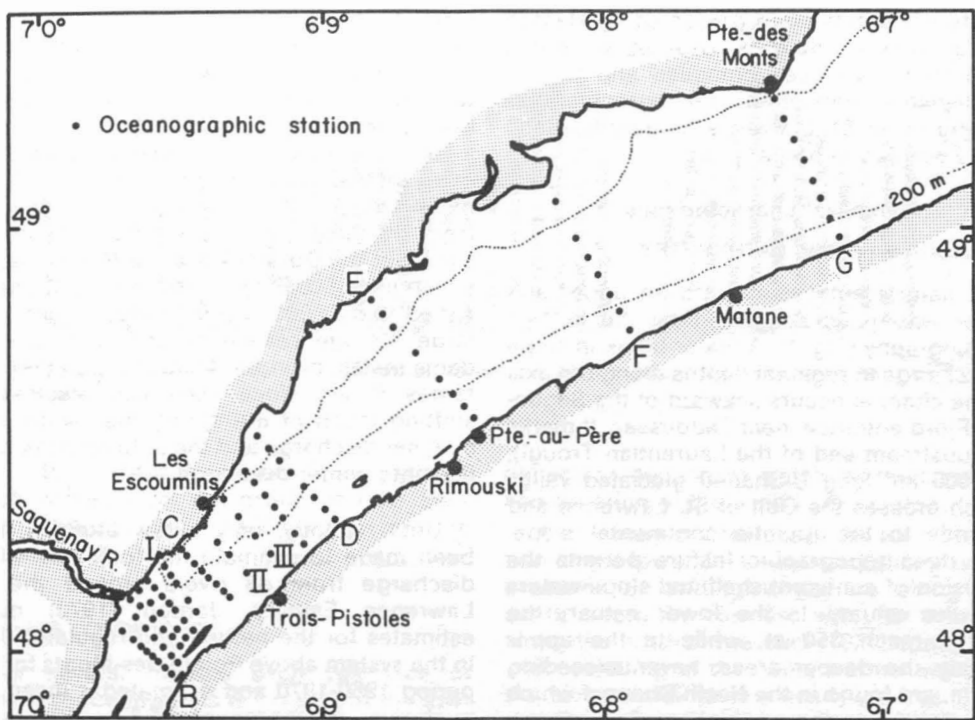


Figure 2. Oceanographic stations occupied in the lower St. Lawrence Estuary.

The data

A part of the study of tidal currents, circulation dynamics and distribution of properties in the St. Lawrence Gulf and Estuary involves detailed examination of the boundary conditions. Owing to the fact that Cabot Strait is the main opening to the Gulf from the Atlantic Ocean, efforts have been made to occupy this section seasonally since 1950. On the other hand, prior to 1973 a St. Lawrence Estuary entrance section has been occupied only occasionally. Since February 1973, a transect referred to as the "Rimouski Section" has been established and an attempt made to occupy it monthly, measuring temperature and salinity (El-Sabh, 1974). This transect was first studied by Forrester (1967) and consists of eight stations distributed in a line extending between Pointe-au-Père on the south shore and Cap Colombier on the North shore (Fig. 2). In each cruise the measurements were repeated several times a few hours apart, in order to achieve meaningful averages for a period of several tidal cycles.

In addition, a network of 100 oceanographic stations distributed on 14 transects

in the lower estuary (Fig. 2) were occupied alternately by the Bedford Institute of Oceanography and Oceanographic Section of the Université du Québec à Rimouski during the years of 1973, 1974 and 1975. In most cases, the methods of observation used were the same as for the Rimouski Section, and selected stations in some of these sections were sampled even more frequently by using more than one ship simultaneously. The area around the mouth of the Saguenay received special attention because it is one area where many of the key oceanographic factors interact. Interest in this area was heightened by the quantitative results of the International Biological Program. The high levels of nutrients in the surface layer compared to other areas in the Gulf, combined with low summer surface temperatures, indicated that marked upwelling was present and lead the biologists to refer to mechanism as a "nutrient pump" (Steven, 1974). Also, theoretical studies suggested that the bottom slope at the western end of the Laurentian Trough is critical to the generation of the internal tides observed previously by Forrester (1974). Some preliminary results of the 1973 observations carried out by the

Bedford Institute were presented by Hassan (1973) while all the data collected since that time have now been compiled and will be published as part of an oceanographic atlas for the lower St. Lawrence Estuary (El-Sabih and Fournier, in preparation).

General characteristics

PHYSIOGRAPHY AND BATHYMETRY

A natural subdivision into an upper and lower estuary is suggested by the bottom physiography (Fig. 1). A major break in slope and change in regional depths along the axis of the channel occurs seaward of the Saguenay Fjord entrance, near Tadoussac. It marks the upstream end of the Laurentian Trough, a 1 000 km long U-Shaped glaciated valley which crosses the Gulf of St. Lawrence and extends to the Atlantic continental slope. This deep topographic feature permits the intrusion of continent shelf and slope waters into the estuary. In the lower estuary the depths reach 350 m, while in the upper estuary the deeper areas, never exceeding 200 m, are found in the North Channel which runs parallel to the north shore. In contrast, a broad subtidal platform of 10 m or less is developed along the south shore of the upper estuary.

Given the unique geographical location at the end of the Laurentian Trough, the Saguenay Fjord is undoubtedly the most important single tributary of the St. Lawrence Estuary. It is a long (~ 92 km) narrow (1-6 km) valley with straight high rock walls which descend from more than 300 m above to several hundred meters below sea level. Elongated basins as deep as 275 m occur along its length. These basins are separated from the deep water of the St. Lawrence Estuary by two principal sills, the shallowest is located at the mouth of the fjord, just seaward of Tadoussac where the water is barely 20 m deep.

FRESHWATER DISCHARGE

Neu (1970) has given evidence that the intensity of the estuarine circulation is controlled by the amount of freshwater discharge. The St. Lawrence River, which has a drainage basin extending approximately 3 600 km, constitutes the largest single source of freshwater input. According to Pardé (1948), the mean annual discharge at Québec City is $10.4 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$. All other major freshwater inflows enter the system

from the north shore of the Estuary, the inflow from the south shore being insignificant. The Saguenay River, which enters the system at Chicoutimi, has a mean monthly discharges ranging from a minimum of $1\ 100 \text{ m}^3/\text{s}$ in March to a maximum of $2\ 200 \text{ m}^3/\text{s}$ in May with an annual mean of $1\ 300 \text{ m}^3/\text{s}$. Under natural conditions, freshwater from the group of rivers consisting of the Bersimis, the Outardes and the Manicouagan, which joins the Estuary above Baie-Comeau, varied from $1\ 200$ to $7\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$. A series of large storage reservoirs and hydroelectric dams installed on the Manicouagan and Outardes Rivers since 1964 has resulted in shifting much of the spring melt water into summer discharge and the autumn peak rainfalls into winter discharge.

Until recently, only a few attempts have been made to estimate the total freshwater discharge from all rivers around the St. Lawrence Estuary. Jordan (1973) made estimates for the natural and regulated flow in the system above Pointe-des-Monts for the period 1960-1970 and estimated a mean annual river discharge of $14.4 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$. Based on figures published by the Québec Government (Annuaire Hydrologique) data for the period 1950-1975 were extracted to estimate the freshwater discharge from all rivers around the lower estuary. A time-lag of 15 days has been assumed for the freshwater to travel from the Tadoussac to the Pointe-des-Monts cross-sections. Figure 3a shows a long-term variation of the mean yearly values of the freshwater inflow to the system above the two boundaries of the lower estuary, Tadoussac and Pointe-des-Monts. From this figure, it is evident that there are large cyclical variations in the discharge with periods in the order of 10 years. At Pointe-des-Monts, for example, a decrease occurred from a maximum of $16.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in 1954 to a minimum of $12.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in 1965, followed by an increase to a maximum of $19.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in 1974. Such variations are related to periods of extreme high and low water levels of the Great Lakes (Neu, 1975). The seasonal character of the freshwater discharge is well represented in figure 3b, which reveals a marked monthly fluctuation. It varies from a mean monthly minimum of $11.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ at Tadoussac in February and $12.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ at Pointe-des-Monts in March to a maximum of 19.7 and $22.9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in May at both sections, respectively. The mean annual value of the total freshwater discharge has been estimated to be

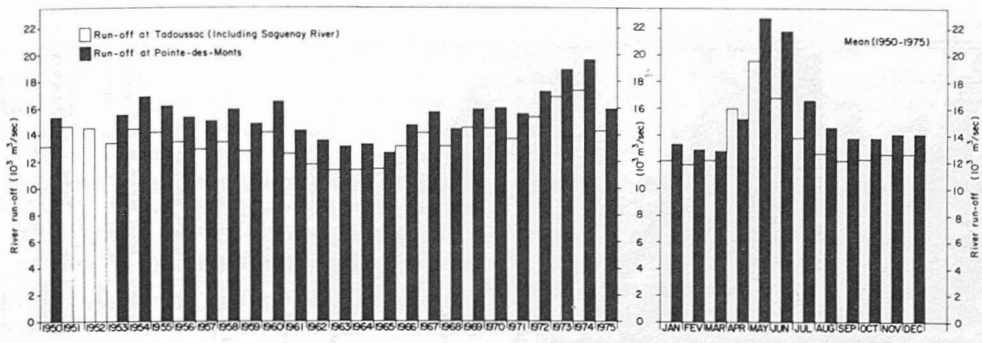


Figure 3. Mean annual and seasonal variations of the total river discharge into the lower St. Lawrence Estuary.

$15.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ at Pointe-des-Monts, 14% of which comes from the group of river consisting the Bersimis, the Outardes and the Manicouagan.

MEAN ICE CONDITIONS

For several months each year, ice in varying concentrations is present in the lower St. Lawrence Estuary. Observations show that ice found in that region comes from two sources: a) shore ice that forms *in situ*, and b) drifting ice that originates upstream in the St. Lawrence River and in the Upper Estuary. In general, ice starts to form along the shore in late November, with fast ice forming in sheltered areas; by late January most of the Estuary is frozen over and does not reopens until late March.

Based on the ice cover data from 1964 to 1973, published by the Meteorological Branch of the Department of Transport, ten-year mean ice concentration maps have been formulated and are shown in figure 4. From these charts, it can be seen that during late December, winter ice begins to appear off Rivière-du-Loup. By the last week of January the south shore of the lower St. Lawrence Estuary is covered by heavy ice originating in the St. Lawrence River. As winter progresses, the ice in those areas is advected by the prevailing westerly wind, and by the relatively strong downstream current, along the south shore out towards the Gulf of St. Lawrence. The principal areas of young ice occur along the northern half of the Estuary. This ice, together with slush and sludge, is generally associated with open or recently open water areas. The confluence of the St. Lawrence Estuary and Saguenay River maintains an area of relatively open water, its form and

dimension depending mainly on the strength and duration of the wind in the region.

A characteristic feature of the ice distribution in the lower St. Lawrence Estuary is the presence of drifting winter ice along the south shore in contrast with its absence along the north shore. Neu (1970) concluded that upwelling of the deep, warmer water to the surface maintains a nearly ice-free channel along the north shore through most of the ice season. Examination of the wind direction along both shores, however, reveals that the prevailing winds during the winter months generally blow along the north shore from a northwesterly direction. Along the south shore, wind direction varies between west, southwest and northeast, although the predominant winds are from the northeast. It was found that the prevailing winds are largely responsible for the occurrence of open water areas along the north shore, for the accumulation of ice along the south shore, and its subsequent drift towards the Gulf of St. Lawrence along this shore (El-Sabh, 1974). The existence of a reasonably open channel along the north shore may also be attributed to the fact that the presence of relatively salty waters along the north shore will lower the freezing point and hence delay the formation of ice along that shore.

By late March, with the vernal warming, a rapid break-up occurs over the entire Estuary, leaving ice in small areas where shoals and islands offer protection from wind and wave action. The freeing of the Estuary from ice is usually completed during April.

TIDES AND TIDAL CURRENTS

The semi-diurnal and diurnal tides are propagated from the Gulf of St. Lawrence

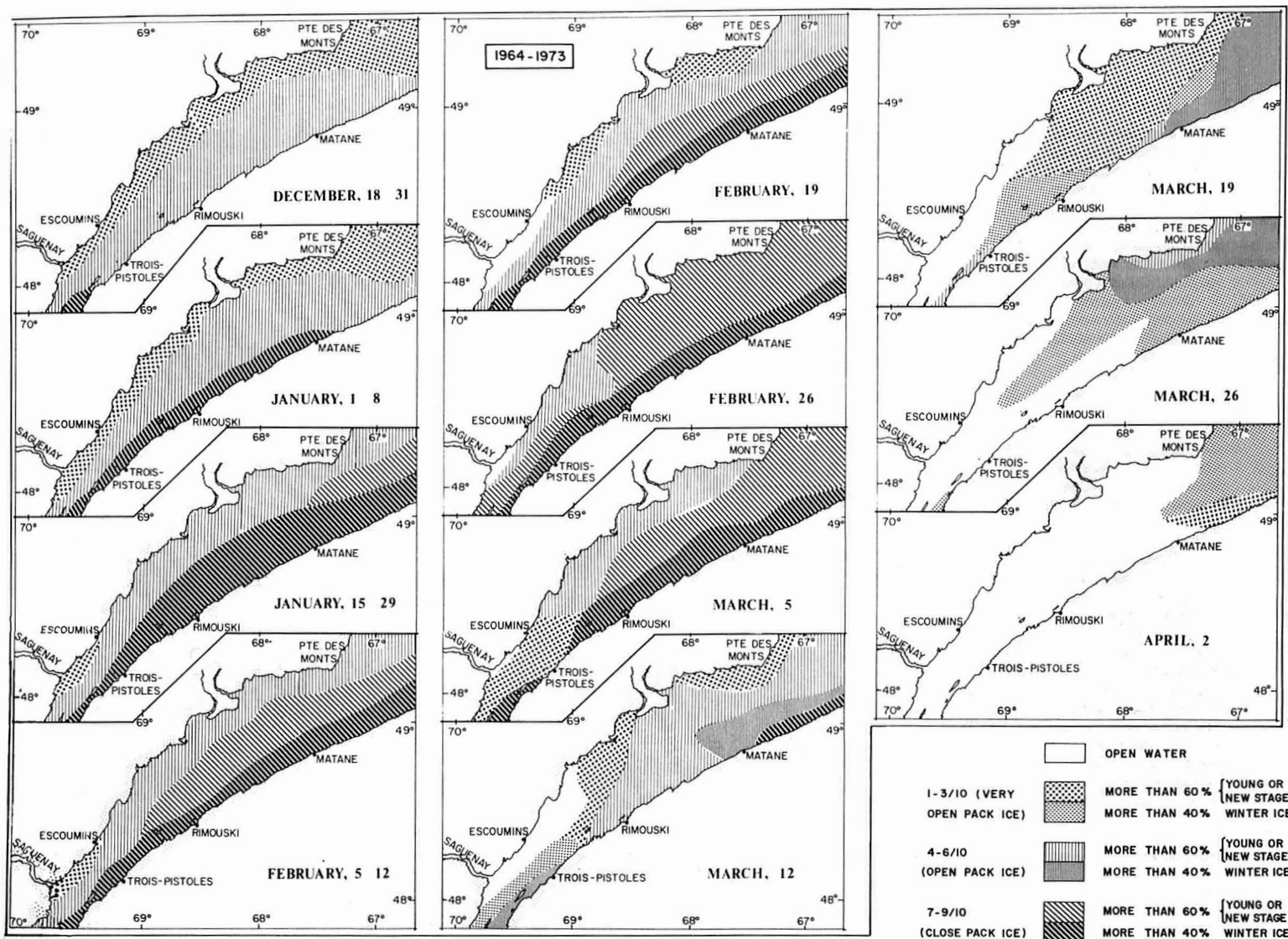


Figure 4. Ten-year mean ice concentration in the lower St. Lawrence Estuary.

into the Estuary (Farquharson, 1970, Lévesque, 1977). Because of the decreasing cross-section of the Estuary, the range of the semi-diurnal tide progressively increases as it penetrates, from about 2.5 m at Sept-Îles to a mean value of 4 m at Tadoussac. The crest of the tidal undulation takes about 70 minutes to travel from the former to the latter. Thereafter, the rate of travel rapidly falls off with the decrease in depth of the Estuary.

From observed surface elevations and continuity considerations, Forrester (1972) has calculated the average tidal transports and streams for various cross-sections in the St. Lawrence Estuary. Surface tidal currents near the mouth of the Saguenay are very strong with peak speeds reaching 3 m/s in large tides. Internal tides are known to be present in the St. Lawrence Estuary, seaward of the Saguenay entrance. Forrester (1974) elegantly described the presence of a progressive internal semi-diurnal tide of the Poincaré type and a diurnal tide of the Kelvin type propagating seaward from the inland end of the Laurentian Channel, near Tadoussac. Hassan (1973) and Ingram (1975) have observed heights of tidal internal waves in this region up to 80 m. In the lower St. Lawrence Estuary, it appears that the character and magnitude of the surface tidal streams is determined much more by the internal than by the surface tide. Analysis of the current meter observations from near Les Escoumins (Forrester, 1974) indicates that there is a very strong vertical shear in the tidal streams near the surface and that the streams at the surface may be about twice those at the shallowest normal measuring depth of 10 m. Because of the very short wavelength of the internal tides (about 60 km for the semi-diurnal constituents) there must be regions of relatively strong convergence and divergence between crests and troughs. This may partially account for the build-up and relaxation of ice pressure frequently reported by ships operating in heavy ice in the Estuary. Forrester (1974) also suggested that the mechanism involved in the generation of the internal tide contributes to mixing of the deep water, with its nutrients, with the shallower water of the euphotic zone, and thus may explain the high level of biological productivity observed by Steven (1974) in the region.

OCEANOGRAPHIC PROPERTY DISTRIBUTIONS

A detailed picture for the general characteristics of the vertical temperature, salinity

and density distributions for the Rimouski transect (E) is shown in figure 5 for February and July 1973. Two layers are recognizable in the winter; a cold upper layer with a depth between 75 and 100 m with temperatures below 0°C and salinities between 29 and 32‰ overlies a deep warm layer with temperatures less than 4.5°C. The more variable of these two layers is the upper one. Its characteristics are strongly influenced by land drainage and surface exchange with the atmosphere. In late spring and summer a strong thermocline is developed, and, as a result of solar heating and increase in freshwater discharge, a warm water mass, ~ 10 m thick, with temperatures as high as 12°C appears at the surface. This is underlain by cold water with a minimum temperature at a depth of about 75 m, overlying the deep warm water.

Using all available data, monthly average values of temperature and salinity were calculated for stations E₃ and E₇, along the south and north shores respectively, at the surface, 50 and 200 m. Figure 6A shows the seasonal variations of the average surface temperature and salinity for each side of the Estuary. During winter the minimum temperature is reached in January, with values of -1.5 and -1.0°C for north and south shores respectively. Salinity attains its maximum value during the same month, due in part to the release of salt when ice is formed and in part to a decrease in freshwater run-off. Its value varies from 28.70‰ at the south side to 31.25‰ at the north shore. In spring the temperatures range from 0 to 5°C. Associated with the temperature increase is a decrease in salinity where the lowest values occur in May and vary between 15.25‰ (south shore) and 22.00‰ (north shore). These maximum salinity differences in May not only occur between both shores but also become more important if one considers tidal variations along the same shore. Figure 7 shows seasonal surface temperature and salinity variations at Rimouski Harbour, along the south shore, based on weekly measurements taken at both high and low tides. Differences in salinity as high as 17‰ was observed during one tidal cycle on May 11, 1977.

The upper waters increase in temperature to a maximum of 11.8°C in July. In autumn, the average surface temperature decreases on both sides while the salinity again increases. Seasonal variation in temperature and salinity at 50 m also are observed, but

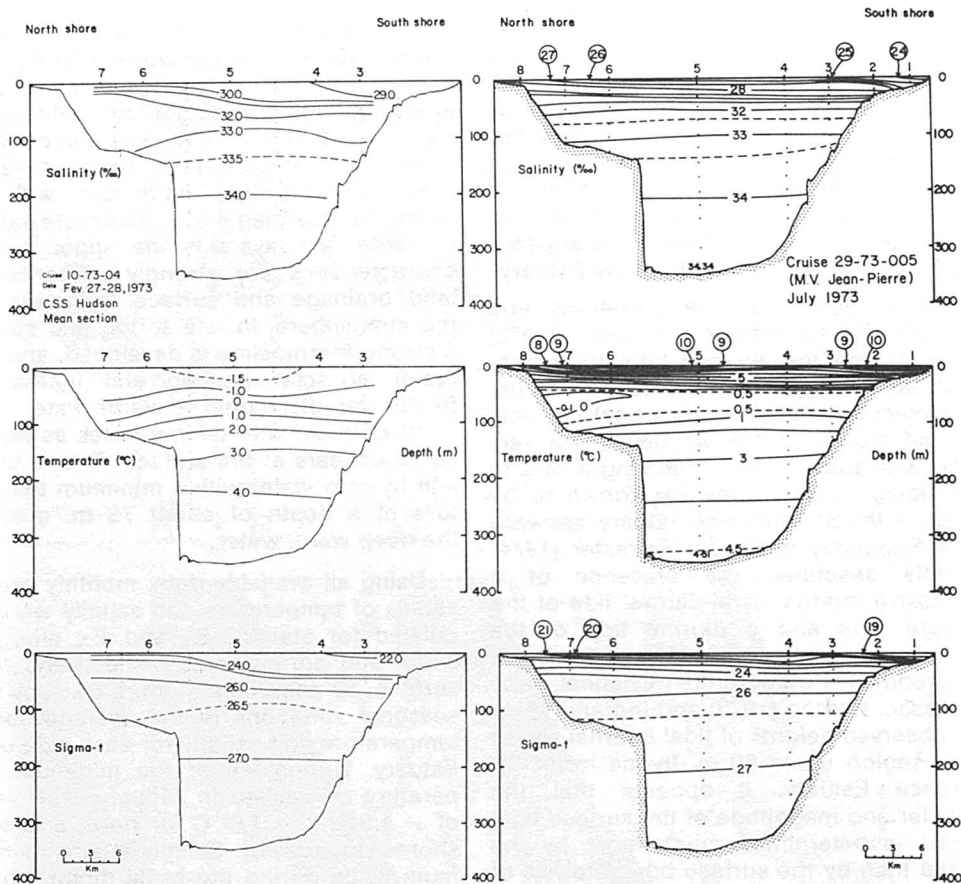


Figure 5. Vertical distribution of salinity, temperature and density (σ_t) for the mean section of Rimouski in (A) February 1973 and (B) July 1973.

the range is much reduced (Fig. 6B). While the upper layer shows appreciable variations of its properties with the progress of the seasons, the deep warm layer in the Estuary shows little variation with the season (Fig. 6C). The temperature at 200 m fluctuates between 2° C in January — February and 4.5° C in the autumn. Salinities associated with these temperatures range between 33.5 and 34.5‰. This deep warm water is formed outside the Gulf of St. Lawrence through a mixing of Labrador and Slope waters (Lauzier and Bailey, 1957) and penetrates into the Estuary through the Laurentian Channel. This suggests that the oceanic water penetrates 800 km upstream without being appreciably changed by the freshwater in the system.

Based on data collected in 1963, Neu (1970) concluded that "the water is generally fresher on the south side than on the north. During the winter when the atmosphere is colder than water surface, the estuary is

warmer on the north than on the south side, while during the rest of the year, when the air is warmer, conditions are reversed, the transition occurring during the beginning of April". Close examination of figure 6A (also Fig. 16 of Neu, 1970) reveals that such conclusion is not applicable to the area between Pointe-au-Père and Île du Bic. The upper layer in this region was found to be colder on the north than on the south shore between October and May, while during the rest of the year conditions were reversed. By examining the horizontal distribution of the physical properties, El-Sabh (1977a) found that the isotherms, isohalines and isopycnals cross the Estuary from the south towards the north in this area. This was correlated with the general circulation pattern in the lower estuary, and with the existence of a transverse current from the south towards the north shore in the Rimouski area (El-Sabh, 1977a).

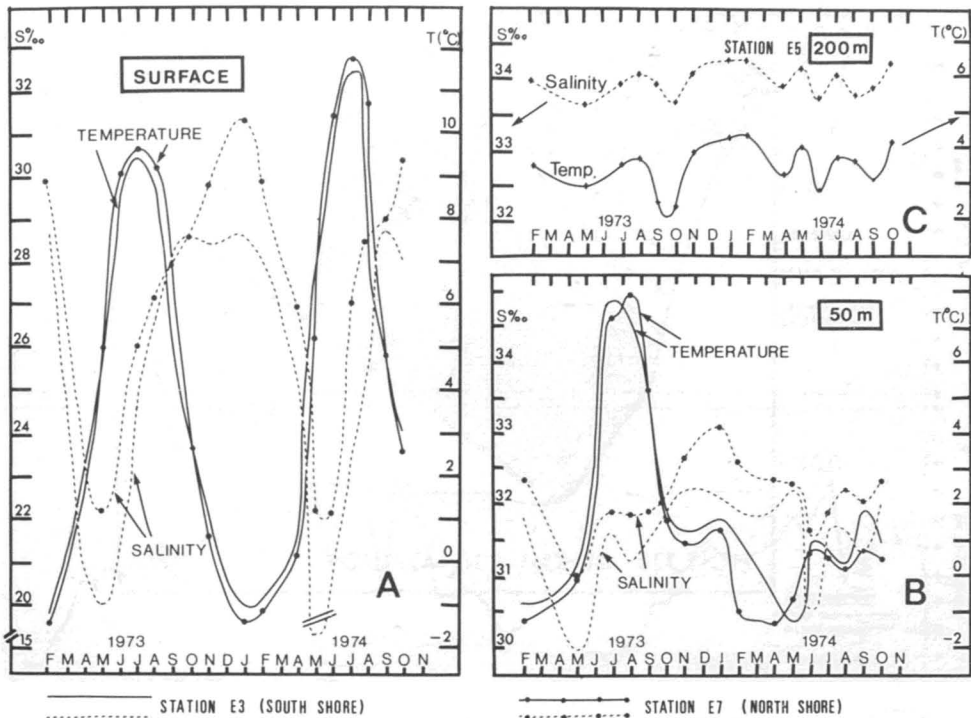


Figure 6. Average monthly variations of salinity and temperature in the Rimouski section at the surface, 50 and 200 m.

CURRENTS, CIRCULATION AND TRANSPORT

Although the currents in the St. Lawrence Estuary have been investigated as early as in 1892 (Farquharson, 1966), much still remains unknown about the mechanisms involved in the circulation pattern in the estuary. Current observations are scarce and spatial coverage is poor. On occasion, direct current measurements were carried out at Pointe-des-Monts (Farquharson, 1966), at Rimouski section (Forrester, 1967), at locations along the axis of the estuary between Trois-Pistoles and Baie-Comeau (Forrester, 1974) and near Les Escoumins (Ingram, 1975) for periods varying between two weeks and two months. The bulk of these measurements have been made during the ice-free period and only recently limited measurements have been attempted during winter months.

Data from two sections in the lower estuary are shown in figure 8. At the Pointe-des-Monts section, the outflow of the surface water is mostly confined to the upper 25 —

50 m along the south shore. Its maximum strength of 0.5 knots is found at 10 m depth. An equally prominent feature is the upstream current lying immediately below the seaward moving surface current, with its core at 100 m depth. At the Rimouski section, the upstream current, below 50 m, is strongest on the northern side of the cross-section, as would be expected from the effect of the Coriolis force in a typical two-layer estuary. The outflow above 50 m, however, appears to be almost equally strong along both shores and weakest near the middle of the channel. The deep waters, below 250 m, move with a uniform velocity of 2 cm/s upstream.

It appears that the St. Lawrence Estuary is characterized by the existence of strong transverse currents. Farquharson (1966) found in the 1963 Pointe-des-Monts survey that there was a southerly transverse residual flow of about 0.4 knots near the surface, with an overall average southerly flow of about 0.1 knots. He suggested that there is an anti-cyclonic eddy in the lower St.

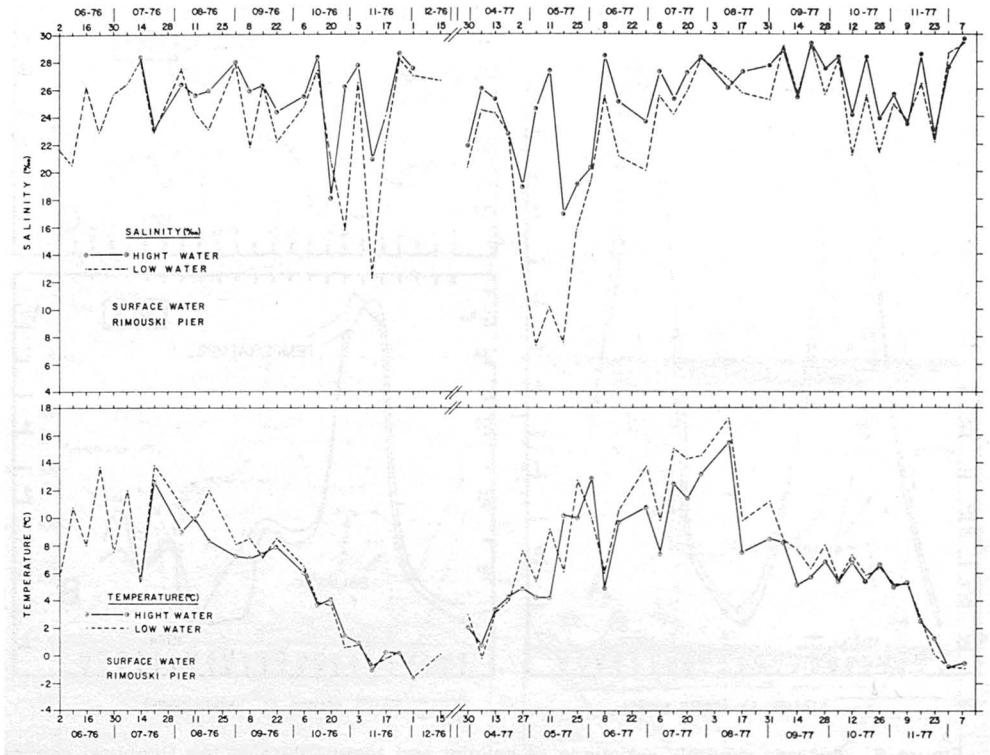


Figure 7. Weekly variations of the surface salinity and temperature at Rimouski Harbour.

Lawrence estuary, with its centre somewhere between the Pointe-des-Monts and Rimouski sections. Farquharson found further evidence for the existence of such an eddy from the path followed over a 5 — day period by a parachute drogue set to drift at a depth of 75 m. No direct observations, however, of such an eddy were recorded near the surface. Furthermore, the presence in the Rimouski section of a residual transverse flow of 0.14 knots toward the north shore in the upper layer, and of 0.02 knots in the same direction in the lower layer was first revealed by measurements of currents made by Forrester (1967) during the 1965 survey. A parachute drogue placed by the writer at 10 m depth near Île du Bic in the south shore on October 18, 1975 and recovered after 32 hours near Forestville on the north shore (Fig. 9) strongly confirms the existence of the northerly transverse residual current in that area with mean velocity of 0.6 knots. This experiment was carried out during calm conditions; the average wind velocity was 3 knots with a maximum of 8 knots, while wind direction varied between west and northeast.

Farquharson (1966) found that the intensity of the eddy is closely associated with the magnitude of the southerly transverse current observed at Pointe-des-Monts section, which in turn occurs in response to changes in the moon's phase. He concluded that the transverse current and the eddy have their maximum rates 3½ days before new and full moon, when the river level is rising, and their minimum rates 3½ days after those occurrences, when the river level is falling. Furthermore, Murty and El-Sabh (1977), qualitatively examined the problem. Based on a theoretical treatment, following the concepts of the classical "Rossby Adjustment Problem" (which deals with the mutual adjustment of pressure and velocity fields in a fluid to which momentum has been imparted), an explanation was found. Wind stress interacting with the topography combined with the influence of stratification and earth's rotation will account for the transverse currents. Examination of the observed currents and wind indicates that the wind can have an important influence on circulation pattern in the St. Lawrence Estuary. It was found that with wind speed greater

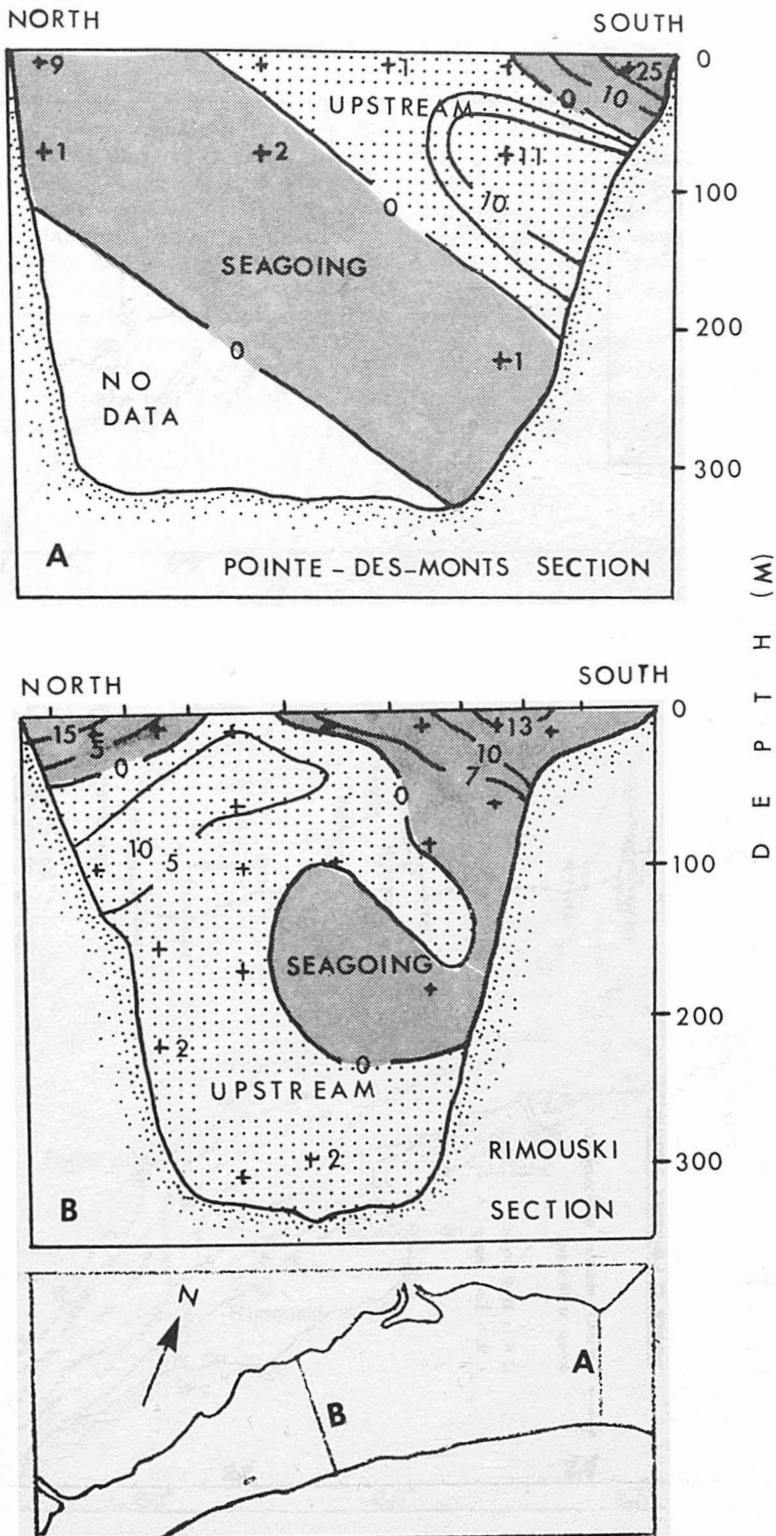


Figure 8. Residual currents through two sections in the lower St. Lawrence Estuary as determined by direct current measurements. (Data from Farquharson, 1966 and Forrester, 1967).

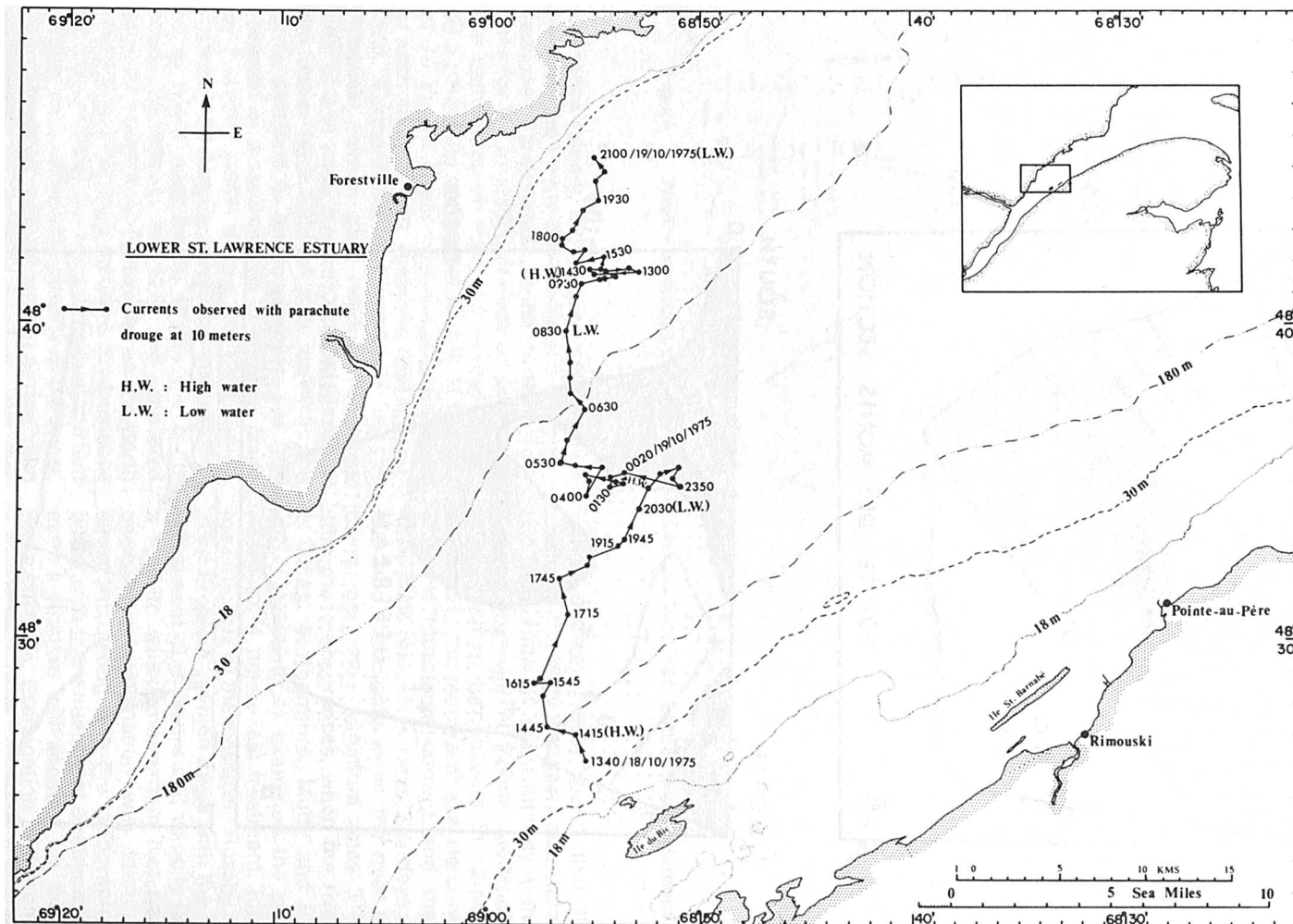


Figure 9. Currents observed with parachute drupe at 10 m on October 18-19, 1975.

than 15 knots, the water current in the surface layer will be mainly in the direction of the wind. When the wind stops blowing, the fields of pressure and velocity require redistributions and adjustment, and the transverse currents start to develop. It is of interest to notice, however, that the 1975 parachute drogue experiment (Fig. 9) confirms the explanation given by both Farquharson (1966) and Murty and El-Sabh (1977), since it was carried out two days before full moon and during calm conditions after the passage of a strong weather system. More data are required in order to understand the actual mechanisms involved in the observed transverse currents.

It is evident that the currents in the estuary exhibit several time and space scales and the observed circulation pattern is a result of the combined action of several factors such as winds, atmospheric pressure gradients, freshwater discharge, stratification, tides, earth's rotation, friction, internal waves and topography. El-Sabh (1977a), utilizing all the available current measurements up to that time, proposed a sketch of a typical summer surface circulation pattern in the lower St. Lawrence Estuary; a modified form of which is shown in figure 10. The outflow of freshwater along the south shore, the existence of two eddies (a large anti-cyclonic one with its centre somewhere between the Pointe-

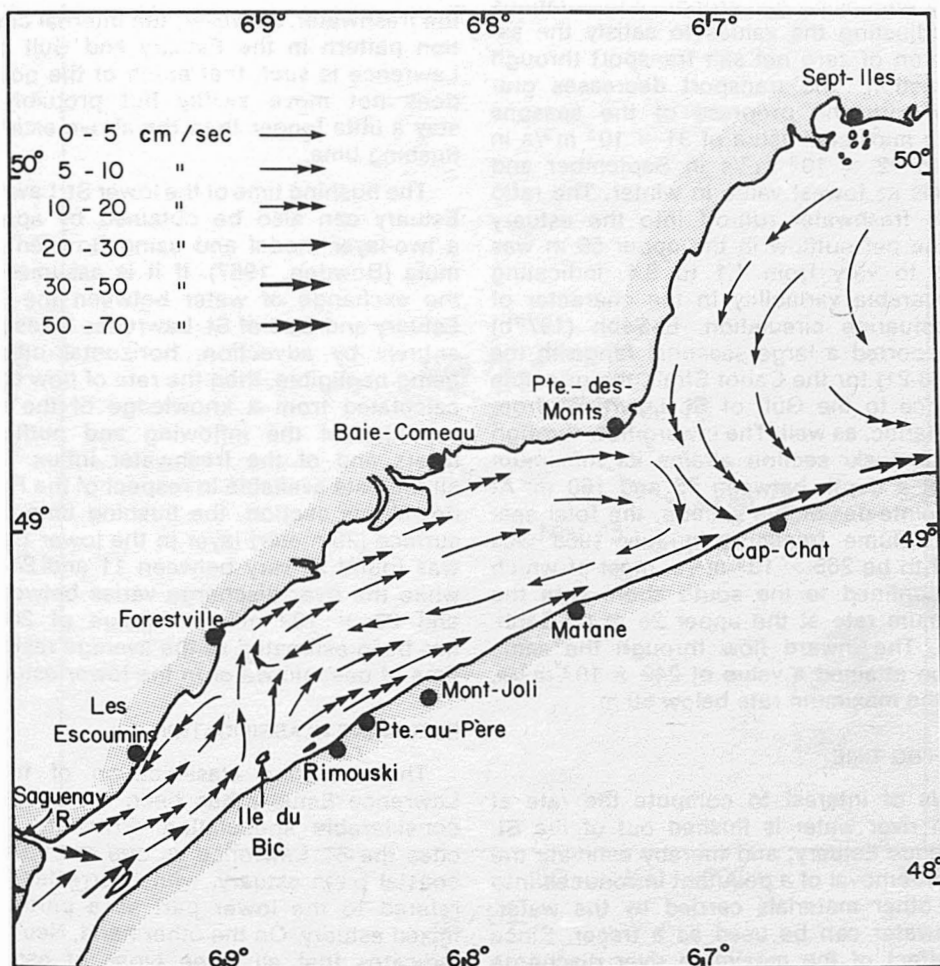


Figure 10. Summer surface circulation pattern in the lower St. Lawrence Estuary (modified from El-Sabh, 1977a).

des-Monts and the Rimouski sections, and a smaller cyclonic eddy between Rimouski and Tadoussac), together with the northerly transverse current in the île du Bic region are the main features of this circulation pattern. Waters from the Saguenay River set southward toward the south shore of the St. Lawrence Estuary and join the freshwater from the upper estuary which flows along that shore. This seaward flow continues until it reaches the île du Bic region, where it deviates toward the north shore with two branches; one which moves seaward along the north shore toward the Gulf, while the other turns to the west and moves upstream off Les Escoumins.

The net seaward volume transport through the Rimouski section has been evaluated by Forrester (1967) and Sinclair *et al.* (1976), employing geostrophic computations and adjusting the values to satisfy the assumption of zero net salt transport through the section. The transport decreases gradually with the progress of the seasons from a maximum value of $31 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in May to $12 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in September and reaches its lowest value in winter. The ratio of the freshwater run-off into the estuary and the net outflow in the upper 50 m was found to vary from 1.1 to 9.4, indicating considerable variability in the character of the estuarine circulation. El-Sabh (1977b) has reported a large seasonal range in the ratio (8-21) for the Cabot Strait, the principle entrance to the Gulf of St. Lawrence from the Atlantic, as well. The inward flow through the Rimouski section attains its maximum rate at a depth between 75 and 100 m. At the Pointe-des-Monts section, the total seaward volume transport in July 1963 was found to be $265 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$, most of which was confined to the south shore with the maximum rate at the upper 25 m (El-Sabh, 1975). The inward flow through the same section attained a value of $249 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$, with the maximum rate below 50 m.

FLUSHING TIME

It is of interest to compute the rate at which river water is flushed out of the St. Lawrence Estuary, and thereby estimate the rate of removal of a pollutant introduced into it or other materials carried by the water. Freshwater can be used as a tracer. Since the effect of the maximum river discharge reaches Rimouski in May, as indicated by the occurrence of the lowest surface salinity (Fig. 7), and since the average maximum

river run-off at Québec City ($16.85 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$) occurs in April, a period of one month can be assumed as the mean flushing time of freshwater between the two regions. This value is consistent with the unpublished results of more than 8 000 surface drifters released by the author at different sites in the estuary and at different time of the year between 1974 and 1976. Furthermore, if one considers the fact that the lowest surface salinity occurs along the Gaspé coast in July (Lauzier, 1957; El-Sabh, 1973) and in August at both sides of Cabot Strait (El-Sabh, 1976), a period of 3 and 4 months can be assumed as the time required for a particle remaining at the surface to move from Québec City to these two regions. The flushing time as calculated in this way may be applied rigorously to a pollutant only if it is introduced into the estuary in the same way as the freshwater. However, the internal circulation pattern in the Estuary and Gulf of St. Lawrence is such that much of the pollutant does not move swiftly but probably will stay a little longer than the above estimated flushing time.

The flushing time of the lower St. Lawrence Estuary can also be obtained by applying a two-layer model and using Bowden's formula (Bowden, 1967). If it is assumed that the exchange of water between the lower Estuary and Gulf of St. Lawrence takes place entirely by advection, horizontal diffusion being negligible, then the rate of flow can be calculated from a knowledge of the mean salinities of the inflowing and outflowing layers and of the freshwater influx. Using all the data available in respect of the Pointe-des-Monts section, the flushing time of the surface (25-meter) layer in the lower Estuary was found to vary between 11 and 24 days while the river discharge varies between 13 and $23 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$. A value of 200-day has been estimated as the average residence time of oceanic water in the lower estuary.

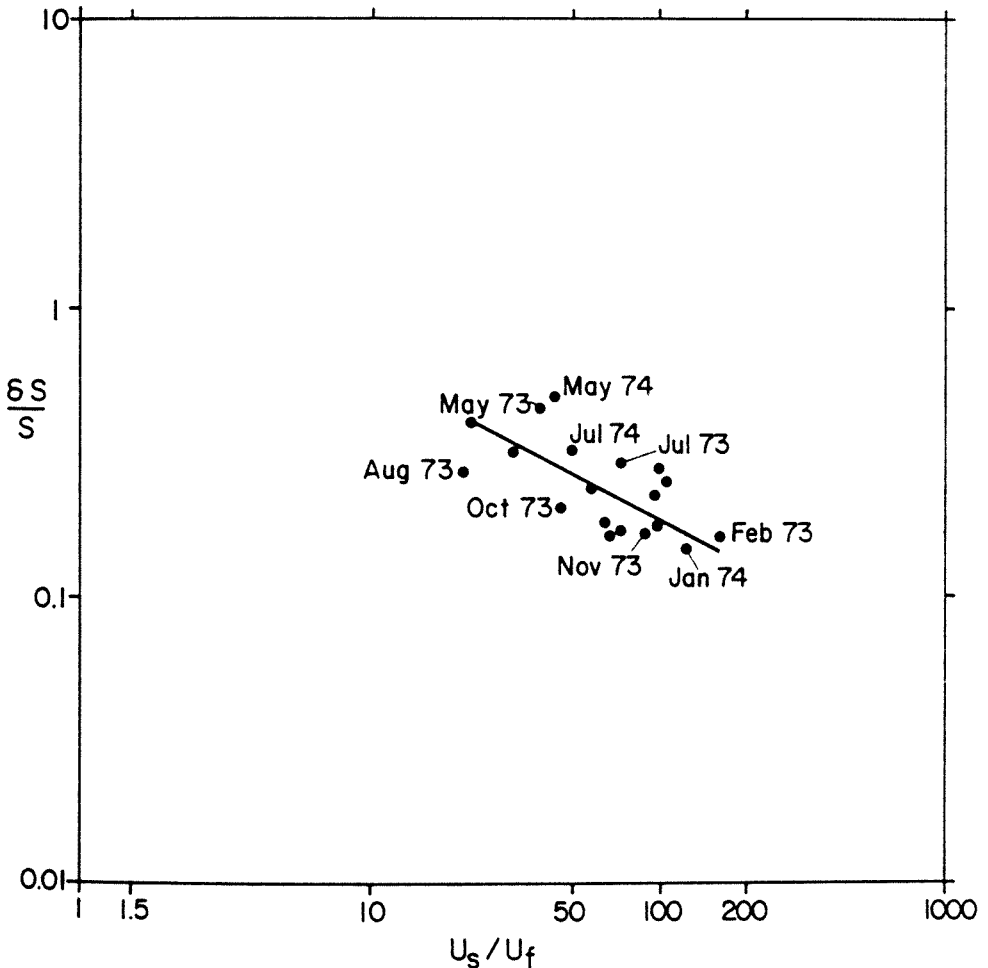
ESTUARINE CLASSIFICATION

The estuarine classification of the St. Lawrence Estuary has been the subject of considerable speculation. Pritchard (1952) cites the St. Lawrence as one example of a coastal plain estuary, while Forrester (1967) referred to the lower part as a partially mixed estuary. On the other hand, Neu (1970) indicates that all three types of estuarine mixing exist in the St. Lawrence estuary: the well-mixed, at the head of the estuary; the moderately-mixed, in the section below

the head; and the stratified, in the lower section below Tadoussac.

Hansen and Rattray (1966) proposed an estuarine classification scheme in which estuarine dynamics are explicitly included. The comparative importance of horizontal diffusion and advection in the upstream salt flux is indicated on a stratification — circulation diagram, on which $\delta S/S$ is plotted against U_s/U_f on a log — log scale; where δS is the difference in salinity between surface and bottom, S the mean salinity over the section, U_s the surface velocity, and U_f the net surface current (i.e., river discharge per unit area of cross-section), where all quantities refer to the residual values averaged over a tidal period.

Using all available data, the two parameters of Hansen and Rattray were calculated for 6 transects in the lower St. Lawrence Estuary and have been plotted on the stratification — circulation diagram. Figure 11 shows the results for transect E (Rimouski) for 19 sets of observations between 1973 and 1974. The points are somewhat scattered, probably at least in part because the estuary was not in a complete steady state, as assumed in Hansen and Rattray's theoretical model. However, a straight line has been drawn to lie evenly among the points and this indicates that an increase in U_s/U_f (usually due to a decrease in river discharge) is associated in general with a decrease in $\delta S/S$. In figure 12 the St. Law-



TRANSECT E (RIMOUSKI)

Figure 11. Stratification-circulation diagram for the Rimouski section.

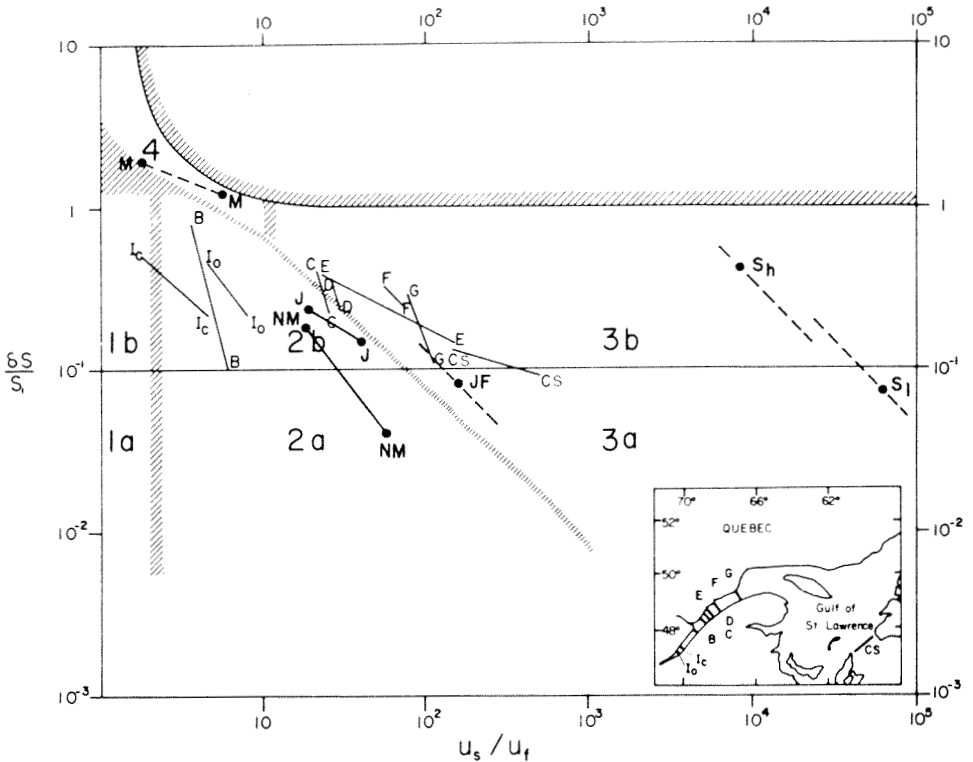


Figure 12. Stratification-circulation diagram, comparing the St. Lawrence Estuary and Gulf with other estuaries. Lines I_c , I_o and BB represent the upper estuary, lines CC, DD, EE, FF and GG represent the lower estuary and line CS represents Cabot Strait section. Code to other estuaries: M-Mississippi River mouth; J-James River; JF-Strait of Juan de Fuca; S-Silver Bay and NM-Narrows of the Mersey estuary. Subscripts h and l refer to high and low river discharge (based on Hansen and Rattray, 1966, fig. 2).

rence data have been superimposed on figure 2 of the Hansen and Rattray paper which included data for a number of other estuaries. For simplicity, the individual points for the St. Lawrence Estuary have not been plotted, but only the lines BB, CC, DD, EE, FF and GG, corresponding to the six transects indicated in figure 2. For comparison, data from Cabot Strait (line CS), Île-aux-Coudres and Île-aux-Oies in the upper estuary (lines I_c and I_o respectively) have been included. Data for these three transects were taken from El-Sabh (1977b) and Meric (1975) respectively.

According to Hansen and Rattray (1966), the total classification region of figure 12 can be split up into four areas depending on the value ranges of $\delta S/S$ and U_s/U_t . When U_s/U_t is less than 2.0 (type 1), the net flow is seaward at all depths, and the upstream salt transfer is effected by diffusion. Type 1a is the arche-typical well-mixed estuary in which

the salinity stratification is slight. For values of $\delta S/S$ less than 1.0, type 2 represents condition in which the net flow reverses at depth, and both advection and diffusion contribute importantly to the upstream salt flux. All the upper St. Lawrence Estuary data, between Île-aux-Coudres and Rivière-du-Loup, fall in the type 2b where the stratification is classed as "appreciable". Data for the region between transect DD, near Île du Bic, and Cabot Strait (line CS) fall into the area of the diagram corresponding to a type 3b. This is a partially mixed estuary in which advective processes account for more than 99% of the upstream salt transfer. At transect CC, near the head of the Laurentian Trough, the estuary is just transitional between types 3b and 2b meaning that diffusive processes begin to account for more than 10% of the property fluxes. Fjord estuaries are usually considered to fall in the classification 3b, when $\delta S/S$ is less than 0.1, so that the lower

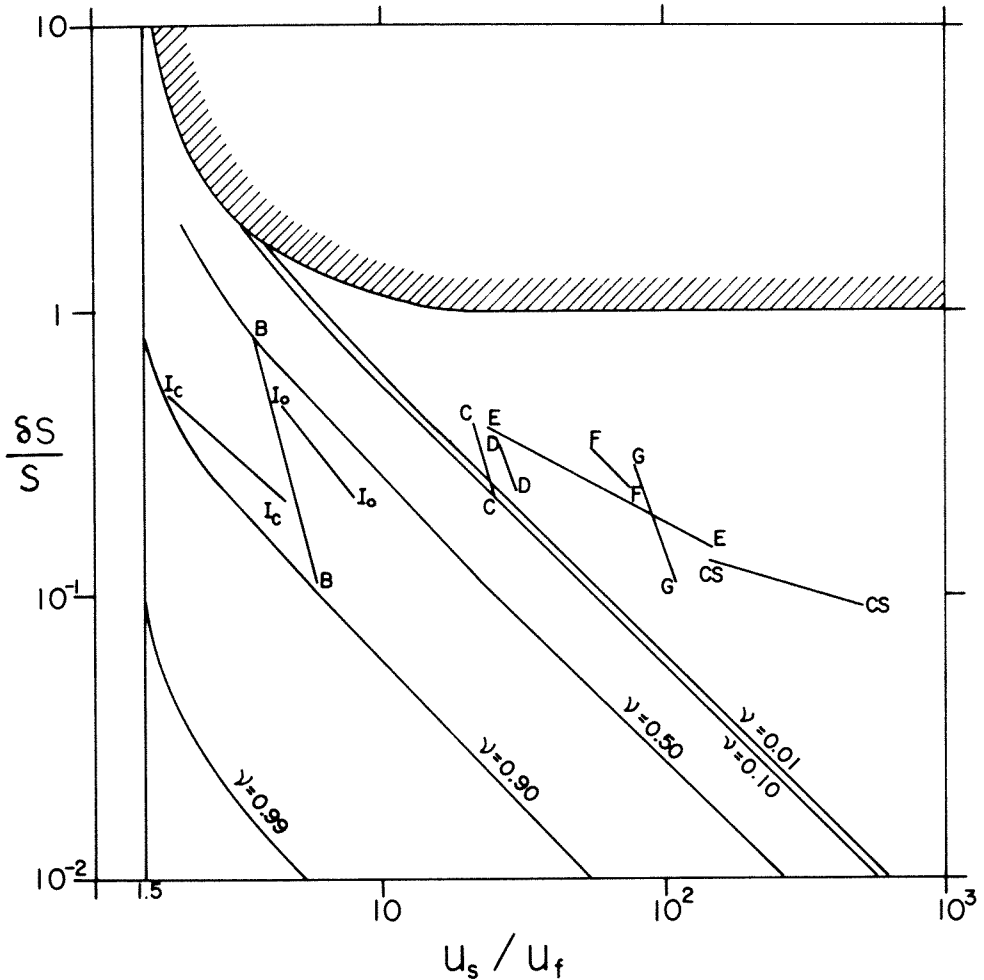


Figure 13. Diffusive fraction on a stratification-circulation diagram showing the St. Lawrence Estuary and Gulf data.

layer is so deep that, in effect, the salinity gradient and the circulation do not extend to the bottom, an important qualitative difference from other estuaries. The last classification area is the salt wedge found in the top left-hand corner with high stratification and low circulation parameter values.

The comparative importance of horizontal diffusion and advection for the upstream salt flux in the St. Lawrence Estuary and Gulf can also be represented by the diffusive fraction constant ν (Fig. 13). The value of the constant varies between 0 and 1. A value of $\nu = 1$ means that the gravitational convection ceases and upstream salt flux is entirely by diffusion, whereas, as ν approaches a zero value, the diffusion is unimportant and the upstream salt flux is almost

entirely by gravitational convection in a two-layered flow. The derived parameters for the Gulf and lower estuary all fall above the $\nu = 0.01$ line; meaning that at this region all the upstream salt flux is accomplished by advection. Further upstream, in the upper estuary, diffusive processes account for more than 40% of the fluxes. Because of cross-sectional averaging required by Hansen and Rattray's classification, this diffusive flux is probably mainly contributed by lateral circulation rather than turbulent mixing.

Summary and recommendations

If this account of the state of our knowledge about the lower St. Lawrence Estuary may give the general impression that we

know quite a lot about it, it would be a false impression. In fact, in spite of the research effort that has been put into the estuary since the pioneer work of the Biological Station at Trois-Pistoles in the 1930's to the present, we are still quite ignorant of many of the most vital points required to give us real understanding of the mechanism of the Estuary as a whole and therefore to make management of its resources finally possible. Until now we have been dealing with the system piece-meal; we need both a broad scale and intensive attack simultaneously. Data on the short term variations in physical properties are available only for limited areas and for short periods. More comprehensive observations in time and space are needed to define this type of variability. Furthermore, direct current measurements exist for only a small portion of the estuary and even these have been acquired mostly at single station or at selected sites along a cross-section. There is need for extensive simultaneous current measurements which cover a larger area of the lower estuary and for longer periods (at least three months). Carefully designed field experiments, together with adequate mathematical models, should provide useful insights into the mechanisms driving the circulation. We need to be more quantitative about the dynamics of the lower St. Lawrence Estuary. In particular we need precise data in order to confirm or reject many of the hypothesis put forward in the present study.

Acknowledgements

The author wishes to express his sincere thanks to the many colleagues for their comments and encouragements during the preparation of this study and to Drs. K. F. Bowden, K. Dyer, R. W. Trites and N. Silverberg for their valuable comments on the manuscript. Sincere thanks are due to members of the Bedford Institute of Oceanography who have supplied shiptime and data for this study, to R. Fournier for preparing the drawings and to Denyse Canuel for typing the manuscript. This study was supported in part by a National Research Council of Canada operating Grant No. A 3786 and by a team grant (DGES-FCAC) from the Québec Department of Education.

References

- BOWDEN, K. F., 1967. Circulation and diffusion. Pp. 15-36. G. H. Lauff (Ed.), *Estuaries*, Washington, D. C. — *Am. Ass. Adv. Sci.*, 757 p.
- EL-SABH, M. I., 1973. Seasonal and long-term variations of the water properties in the Gulf of St. Lawrence. P. 128-158. *In*: M. I. El-Sabh (Ed.) *Proc. Workshop on the Physical Sciences in the Gulf and Estuary of St. Lawrence*. Univ. Québec Rimouski, Québec, 249 p.
- EL-SABH, M. I., 1974. Oceanographic features at Rimouski Section, Estuary of the St. Lawrence River. — *EOS Trans. Am. geophys. Un.*, 56(12): 1134. Abstract only.
- EL-SABH, M. I., 1975. Transport and currents in the Gulf of St. Lawrence. — *Bed. Inst. Oceanogr. Rep., Ser./BI-R-75-9*: 180 p.
- EL-SABH, M. I., 1976. Bibliographie sur l'océanographie de l'Estuaire du St-Laurent. — *Cahiers de l'Université du Québec à Rimouski*, Vol. 2, 97 p.
- EL-SABH, M. I., 1977a. Circulation pattern and water characteristics in the lower St. Lawrence Estuary. P. 243-248. *In*: T. S. Murty (Ed.) *Proc. Symp. on modelling transp. mech. in Oceans and Lakes*. — *Mar. Sci. Dir., Dept. Fish. Env., Ottawa, MS Rep. Ser. No. 43*, 416 p.
- EL-SABH, M. I., 1977b. Oceanographic features, currents and transport in Cabot Strait. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34(4): 516-528.
- FARQUHARSON, W. I., 1966. St. Lawrence estuary current surveys. — *Bed. Inst. Oceanogr., Rep. Ser. 66-6*: 84 p.
- FARQUHARSON, W. I., 1970. Tides, tidal streams and currents in the Gulf of St. Lawrence. Part 1. Tides and tidal streams. — *Atlan. Oceanogr. Lab., Bed. Inst., Rep. Ser. 1970-5*: 145 p.
- FORRESTER, W. D., 1967. Currents and geostrophic currents in the St. Lawrence Estuary. — *Bed. Inst. oceanogr., Rep. Ser. 67-5*: 175 p.
- FORRESTER, W. D., 1972. Tidal transports and streams in the St. Lawrence River and Estuary. — *Int. hydrog. Rev.*, 49(1): 95-108.
- FORRESTER, W. D., 1974. Internal tides in the St. Lawrence estuary. — *J. mar. Res.*, 32(1): 55-66.
- HANSEN, D. V. and M. RATTRAY, J., 1966. New dimensions in estuary classification. — *Limnol. Oceanogr.* 11(3): 319-326.
- HASSAN, E. M. 1973. Coastal oceanography program in the St. Lawrence estuary in the spring-summer of 1973 and preliminary results of some aspects of the program. P. 2-13. *In*: M. I. El-Sabh (Ed.) *Proc. Workshop on the Physical Sciences in the Gulf and Estuary of St. Lawrence*, Univ. Québec Rimouski, Québec, 249 p.
- INGRAM, R. G., 1975. Influence of tidal-induced vertical mixing on primary productivity in the St. Lawrence estuary. — *Mém. Soc. r. Sci. Liège*, 6(VII): 59-74.
- JORDAN, F., 1973. The St. Lawrence system runoff estimates (1960-1970). — *Bed. Inst. Oceanogr., Data ser./B1-D-73-10*: 11 p.
- LAUZIER, L. M., 1957. Variations of temperature and salinity in shallow waters of the southern Gulf of St. Lawrence. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, N° 111: 251-268.

- LAUZIER, L. M. and W. B. BAILEY, 1957. Features of the deeper waters of the Gulf of St. Lawrence. — Bull. Fish. Res. Bd. Can., N° 111 : 213-250.
- LEVESQUE, L., 1977. Étude du modèle mathématique de la propagation des marées dans l'Estuaire du St-Laurent. — Sect. d'Océanogr., Univ. Qué. Rimouski, Cahier d'Information, N° 2, 161 p.
- MERIC, P., 1975. Circulation résiduelle dans l'estuaire moyen du St-Laurent et son influence sur les processus sédimentaires. — Univ. Laval, CENTREAU, Rap. no, CRE-75/03 : 68 p.
- MURTY, T. S. and M. I. EL-SABH, 1977. Transverse currents in the St. Lawrence estuary: a theoretical treatment. P. 35-62. *In*: R. J. Gibbs (edit.) Transport Processes in Oceans and Lakes. Plenum Press, N. Y., 288 p.
- NEU, H.J.A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence estuary up to 1964. — Atlan. Oceanogr. Lab., Bed. Inst., Rep. Ser. 1970-9: 31 p.
- NEU, H.J.A., 1975. Run-off regulation for hydro-power and its effects on the ocean environment. — Can. J. Civil Eng., 2(4): 583-591.
- OFFICER, C. B., 1976. Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters). A Wiley — Interscience publication: 465 p.
- PARDE, M., 1948. Hydrologie du Fleuve St-Laurent. — Revue can. Geogr., 2: 38-83.
- PRITCHARD, D. W., 1952. Estuarine Hydrography. — Adv. Geophys., 1: 243-280.
- SINCLAIR, M., M. I. EL-SABH and J. R. BRINDLE, 1976. Seaward nutrient transport in the lower St. Lawrence estuary. — J. Fish. Res. Bd Can., 33(6): 1271-1277.
- STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — McGill Univ. Mar. Sci. Cent. MS Rep., N° 26: 116 p.

TRANSPORT DE MASSES D'EAU À L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

Vladimir G. KOUTITONSKY

*Institut National de la Recherche Scientifique
INRS-Océanologie, 310 des Ursulines, Rimouski, Québec, G5L-3A1*

Résumé

Cinq stations situées sur une section transversale près de l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent joignant Matane à Pointe-à-la-Croix ont été occupées chacune douze fois durant une période de dix cycles de marée semi-diurne, du 22 au 27 septembre 1977. L'époque d'échantillonnage correspond à un faible débit d'eau douce et à une phase de la lune durant laquelle l'Estuaire se remplit. Ce mode d'échantillonnage particulier a permis de calculer le transport géostrophique à l'aide d'un champ de masse moyen. Le transport net d'eau calculé durant cette période est dirigé vers l'amont, et cause une élévation du niveau d'eau de 30 cm à Québec, ce qui confirme le remplissage de l'Estuaire. Les caractéristiques des masses d'eau à l'embouchure de l'Estuaire sont exposées, et le concept d'un écoulement stationnaire dans l'estuaire est discuté.

Abstract

Five stations located on a transverse section near the mouth of the St. Lawrence estuary, between Matane and Pointe-à-la-Croix, were each occupied twelve times during ten semi-diurnal tidal cycles from 22 to 27 September 1977. The sampling interval corresponds to a period during which the freshwater outflow is very low, and to a specific phase of the moon during which the Estuary fills up. This particular sampling scheme permitted the computation of the net geostrophic transport across the section from a mean mass field. The net transport was found to be directed upstream. It produced a mean water elevation of 30 cm near Québec city, which confirms the filling up of the Estuary during that phase of the moon. The water masses characteristics near the mouth of the Estuary are described, and the concept of a stationary flow in the Estuary is discussed.

Introduction

L'évaluation du transport de masses d'eau dans les estuaires s'impose autant pour calculer les flux de matières polluantes ou nutritives dont dépend la production biologique que pour déterminer le temps de résidence de substances dans les océans. Cette évaluation se fait généralement à l'aide de courantographes distribués également sur une section transversale de l'estuaire étudié. Compte tenu des grandes dimensions latérales de l'estuaire du Saint-Laurent, une telle pratique nécessiterait un nombre élevé de courantographes. À défaut de ceux-ci, l'évaluation du transport des masses d'eau peut être calculée indirectement par des méthodes dynamiques (Fomin, 1964) qui font intervenir les hypothèses d'un mouvement géostrophiques; il est nécessaire toutefois lors de l'application de ces méthodes à un

estuaire de tenir compte rigoureusement de ces hypothèses durant l'échantillonnage du champ de masse à l'aide duquel le transport de masse d'eau est évalué.

Des calculs du transport géostrophique mensuel près de l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent ont déjà été utilisés par Sinclair *et al.* (1976), et par Bewers et Yeats (1977) afin d'évaluer l'échange de matières nutritives et de certains métaux en traces respectivement, entre l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Cependant, ces études n'ont pas pris en considération, dans la variation temporelle des paramètres échantillonnés, les fluctuations inférieures à un mois et dans la variation spatiale, les possibles hétérogénéités de la distribution horizontale de ces mêmes paramètres.

Afin d'en tenir compte, un mode d'échantillonnage particulier fut conçu et mis en

œuvre le long d'une section transversale de l'Estuaire près de son embouchure. Ce mode d'échantillonnage a permis les mesures simultanées du champ de masse moyen et des concentrations moyennes du seston et de certains métaux en traces à plusieurs stations sur la section étudiée.

L'époque d'échantillonnage correspond d'une part à une période où l'apport d'eau douce à l'Estuaire est proche de sa valeur annuelle minimale, et d'autre part à une phase de la lune durant laquelle, selon Faquharson (1966), l'Estuaire se remplit. Le transport de masse d'eau évalué au cours de cette étude se rapproche donc de la valeur minimale extrême de celui-ci; le maximum extrême de ce transport surviendrait à la fois au printemps alors que l'apport d'eau douce à l'Estuaire est à son plus haut taux, et à la phase de la lune durant laquelle l'Estuaire se vide.

Dans cette étude, un mode d'échantillonnage permettant l'obtention d'un paramètre moyen (salinité, phosphates, métaux en traces, ou autres) dans l'Estuaire est présenté, la valeur minimale extrême du transport d'eau vers le golfe du Saint-Laurent est évaluée, les caractéristiques des masses d'eau associées à cette extrême sont décrites, et le concept d'un mouvement stationnaire dans l'estuaire du Saint-Laurent est discuté. Les données moyennes de seston et de métaux en trace obtenues simultanément au champ de masse moyen, ainsi que les calculs du flux de ces paramètres à la section étudiée seront introduites ailleurs.

Transport de masses d'eau à l'embouchure de l'estuaire

Dans un milieu marin, les courants à travers une section peuvent être indirectement évalués si la distribution spatiale du champ de masse sur la section est connue, et si l'approximation géostrophique est imposée à l'équation de mouvement de l'eau dans la direction parallèle à cette section. Sous sa forme générale l'équation géostrophique s'écrit comme suit:

$$0 = -\bar{k}f \times \bar{v} - (1/\rho) \bar{\nabla}p + \bar{k}g$$

où f est le paramètre de Coriolis, \bar{k} est le vecteur unitaire vertical, \bar{v} est le vecteur de vitesse horizontale, ρ est la masse volumique de l'eau, $\bar{\nabla}p$ est le gradient de pression et g est la force de gravité.

Dans cette équation, la force de Coriolis est en équilibre avec le gradient de pression

sur le plan horizontal. Les calculs dynamiques effectués lors de l'application de cette méthode à des régions côtières ont été explicités par Fomin (1964). Cette méthode permet aussi le calcul du transport absolu d'eau à travers la section étudiée.

Plusieurs études font état du transport absolu de volume d'eau à travers une section transversale dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent (fig. 1). À cause des variations spatio-temporelles que subit le champ de masse en fonction des composantes semi-diurnes, diurnes et semi-mensuelles de la marée, des débits fluviaux et des ondes internes, il est techniquement difficile d'obtenir à l'aide d'un seul navire des valeurs moyennes de la masse volumique dans l'Estuaire. Trites (1964) a tenté de résoudre cette difficulté en utilisant deux navires partant simultanément de Pointe-des-Monts et de Grosses-Roches pour mesurer pendant 48 heures les profils verticaux de salinité et de température à neuf stations situées à l'embouchure de l'Estuaire (fig. 1F), chaque navire effectuant six traversées durant cette période. Les courants géostrophiques, calculés à l'aide du champ de masse mesuré se sont avérés différents des courants moyens obtenus durant la même période à l'aide de courantographes. Le mode d'échantillonnage ne fournissait pas la couverture spatiale et temporelle de toutes les stations qui aurait permis d'inclure dans les moyennes les variations possibles du champ de masse (Forrester, 1967). Cet auteur a essayé de contourner cette difficulté en utilisant un mécanisme d'horlogerie capable de déclencher simultanément plusieurs bouteilles Knudsen placées à huit stations et à diverses profondeurs sur la section de Pointe-au-Père — Pointe-à-Michel (fig. 1B) et cela chaque jour, durant onze jours, à différentes phases de la marée M2. Les courants calculés à partir du champ de masse synoptique se sont avérés différents de ceux mesurés au même instant à l'aide de courantographes placés entre chaque station. Cependant, la moyenne de tous les courants géostrophiques instantanés se rapprochait de la valeur des courants moyens mesurés pendant la même période. En outre, d'après Forrester (1970), les accélérations autres que celles de Coriolis et du gradient de pression deviennent négligeables pendant cette période.

Neu (1970) met en évidence l'importance du débit d'eau douce sur l'échange d'eau près de l'embouchure de l'Estuaire (fig. 1E). Il calcule le transport au moyen de l'équa-

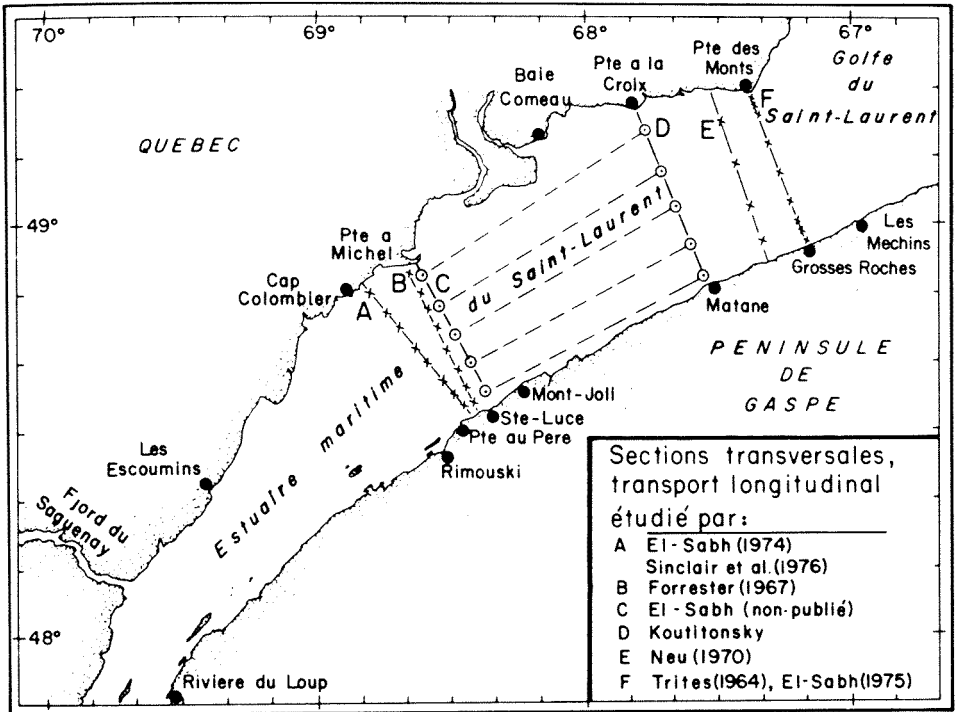


Figure 1. Sites d'études de transport d'eau dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent.

tion géostrophique et du champ de masse obtenu au cours de deux traversées latérales de l'Estuaire l'une en février et l'autre en mai 1963. Cependant, à cause de la faible fréquence d'échantillonnage du champ de masse, ces calculs sont peu précis. Qualitativement ces résultats indiquent que le transport d'eau vers le Golfe est proportionnel au débit d'eau douce et que la sortie d'eau s'effectue uniquement près de la rive sud. Forrester et El-Sabh (1974) proposent un ajustement du courant ou du transport géostrophique en imposant la section lors des calculs dynamiques. El-Sabh (1974) a évalué l'échange d'eau à la section de Rimouski (fig. 1A) en imposant cette contrainte et en utilisant des données de salinité et de température obtenues aux mêmes mois pendant plusieurs années. Il a obtenu un transport net d'eau vers l'aval similaire au volume moyen d'eau douce ajoutée à l'Estuaire pendant ce mois. Des résultats semblables ont été obtenus par El-Sabh (1975) en appliquant la même méthode aux données de Trites (1964). Cette méthode a été ensuite appliquée avec le même succès au détroit de Cabot (El-Sabh, 1975) et à l'embouchure de la baie de James (El-Sabh et Koutitonsky, 1977), et donne tou-

jours le transport moyen pendant le mois d'observation.

Cependant, Farquharson (1966) a démontré qu'au cours d'un même mois, la circulation résiduelle à l'embouchure de l'Estuaire maritime est étroitement reliée aux phases de la lune. Ainsi en quinze jours lunaires, l'analyse des données de courantomètres placés à l'embouchure fait ressortir quatre patrons de circulation résiduelle (fig. 2). Les modes d'écoulement correspondant aux périodes suivantes: 1) les trois jours qui suivent la pleine et la nouvelle lune alors que l'eau dans l'Estuaire est à son plus haut niveau, 2) les trois ou quatre jours avant les quartiers de la lune alors que l'Estuaire se vide et que le courant de Gaspé atteint sa plus grande vitesse, 3) les trois jours qui suivent les premiers ou derniers quartiers de la lune alors que l'Estuaire est à son niveau le plus bas, et 4) les trois ou quatre jours avant la pleine ou la nouvelle lune, alors que l'Estuaire se remplit. Les seules caractéristiques communes à la circulation résiduelle de l'eau pendant les quatre modes d'écoulement sont une sortie d'eau près de la rive sud et une direction prédominante des courants du nord vers le sud.

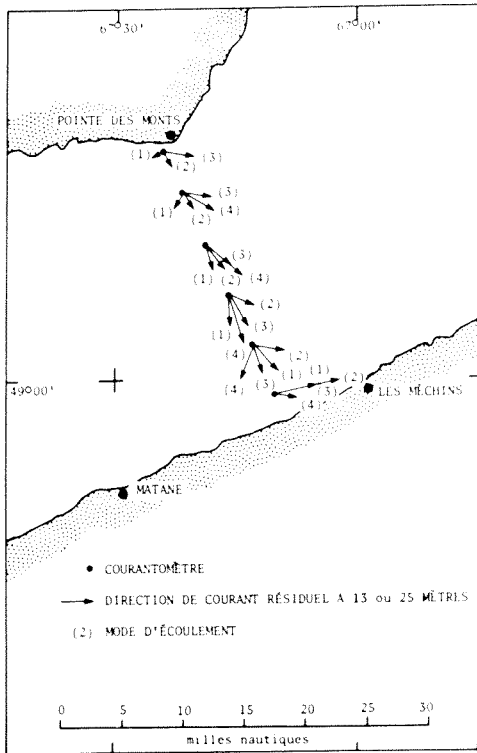


Figure 2. Modes d'écoulements résiduels en fonction des phases de la lune, à l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent (D'après Farquharson, 1966).

Farquharson (1966) propose ensuite l'existence d'un tourbillon anticyclonique entre Pointe-des-Monts et Rimouski durant le mode d'écoulement (4), alors que l'Estuaire se remplit. Murty et El-Sabh (1977) mettent aussi en évidence l'existence d'un courant transversal sud-nord au niveau du Bic aussi durant l'écoulement (4), mais l'attribuent plutôt à un réajustement mutuel du champ de pression et des courants au sein d'un fluide auquel une quantité de mouvement fut ajoutée, par le passage d'un système de pression atmosphérique par exemple.

Méthodes

Afin d'évaluer, dans un premier temps, la limite inférieure du transport d'eau et des flux associés à l'embouchure de l'Estuaire, l'échantillonnage devait s'inscrire dans une période de faible débit d'eau douce et aussi dans la phase de la lune correspondant au mode d'écoulement (4), période de remplissage de l'Estuaire. La section transversale

choisie pour cette étude (fig. 1D) joint Matane à Pointe-à-la-Croix; elle se situe en amont de Les Méchins et en aval de Rimouski, afin d'éviter les courants transversaux déjà mis en évidence à ces deux endroits. Cette section s'étend sur 50 km et sa surface couvre 11,2 km².

Le débit mensuel moyen d'eau douce à travers cette section a été calculé à partir des données hydrologiques des années 1949 à 1976 de Carrier (1976). Des temps de résidence de 15 jours et d'un mois furent utilisés pour rendre compte du parcours des eaux douces du Saguenay et de Québec respectivement jusqu'à la section de Matane. Les débits mensuels moyens d'eau douce aux sections Lévis-Québec, Trois-Pistoles-Tadoussac, et Matane-Baie-Comeau sont présentés à la figure 3. De septembre à mars, le débit à Matane est inférieur à 14,000 m³/s et, à part le mois de février où il baisse à 12,900 m³/s, il demeure à peu près constant. Alors qu'en avril le débit d'eau douce est plus grand à Québec qu'à Matane, il atteint son plus haut niveau à la section de Matane au mois de mai (23,400 m³/s).

En raison de la présence d'une couverture de glace dans l'Estuaire pendant les mois d'hiver, le mois de septembre fut retenu comme période de faible débit d'eau douce.

Les marées prédites à Matane durant le mois de septembre et les phases de la lune correspondantes apparaissent sur la figure 4. Le mode (4) de circulation résiduelle correspond aux périodes suivantes: du 9 au 13 et du 23 au 27 septembre 1977. La dernière période fut retenue pour cette étude.

Compte tenu de la vitesse du navire M/V TECHNO CANADA et du temps requis pour l'échantillonnage, cinq stations furent sélectionnées sur la section (fig. 5) et une fréquence d'échantillonnage de 2 heures fut adoptée (fig. 6). Celle-ci permettait l'occupation de chacune des 5 stations à toutes les phases de la marée semi-diurne M2, c'est-à-dire à la marée haute (MH), MH + 2, MH + 4, marée basse (MB), MB + 2, et MB + 4 heures, soit un total de six occupations par station échelonnées sur cinq cycles de marée M2. Un deuxième cycle de 30 stations fut effectué afin d'inclure dans la moyenne des paramètres mesurés les inégalités diurnes de la marée M2.

À chacune des 60 stations, l'échantillonnage comportait un profil vertical de salinité et de température de l'eau effectué à l'aide d'un CSTD (Inter Ocean) jusqu'à 100 mètres

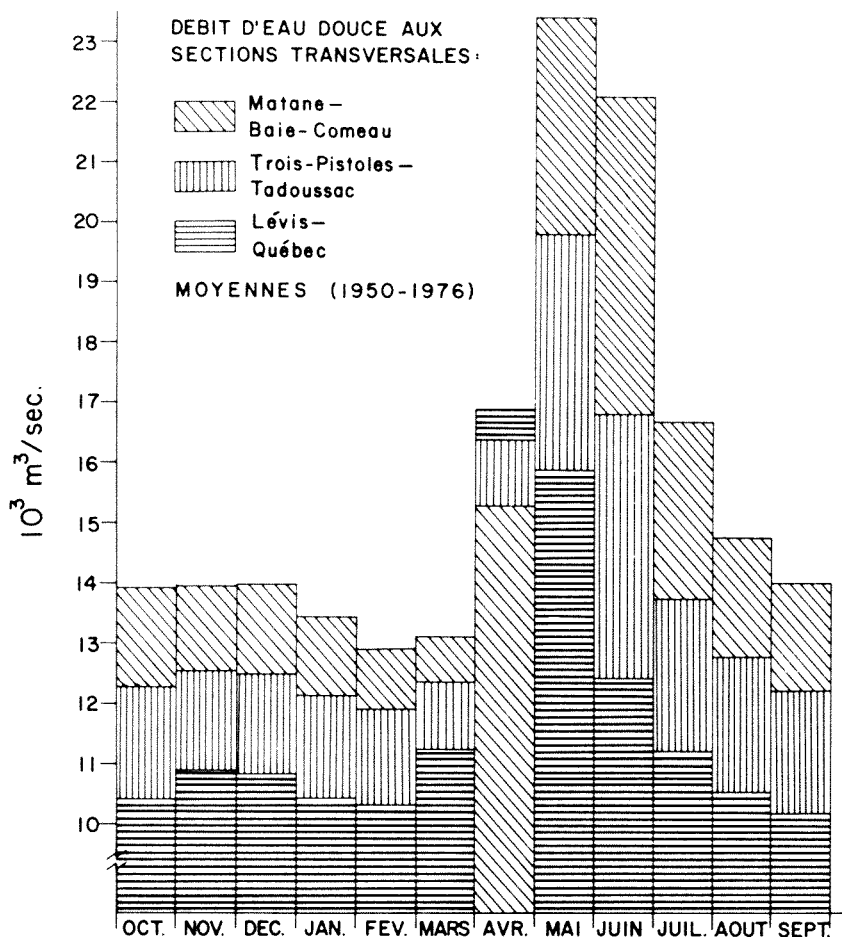


Figure 3. Débit d'eau douce mensuel moyen (1949-1976) à trois sections transversales de l'estuaire du Saint-Laurent.

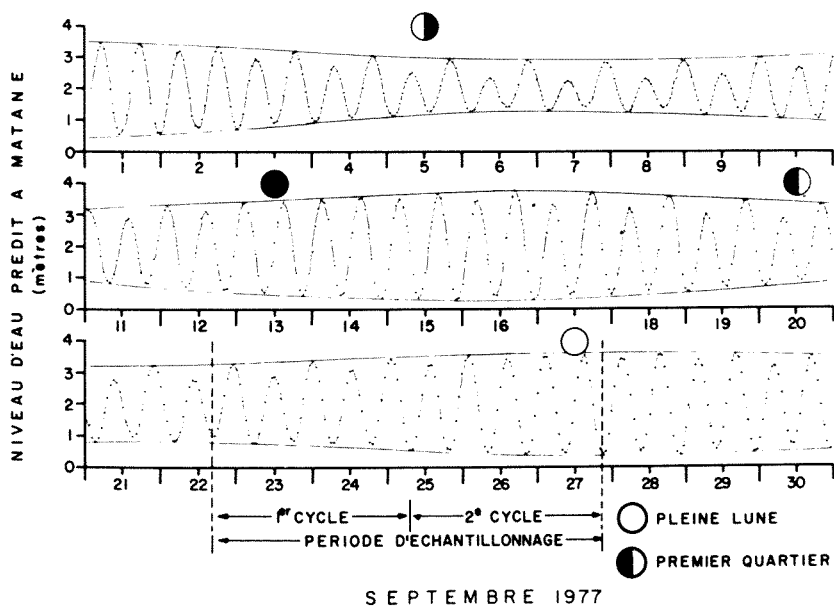


Figure 4. Marées et phases de la lune durant le mois de septembre 1977.

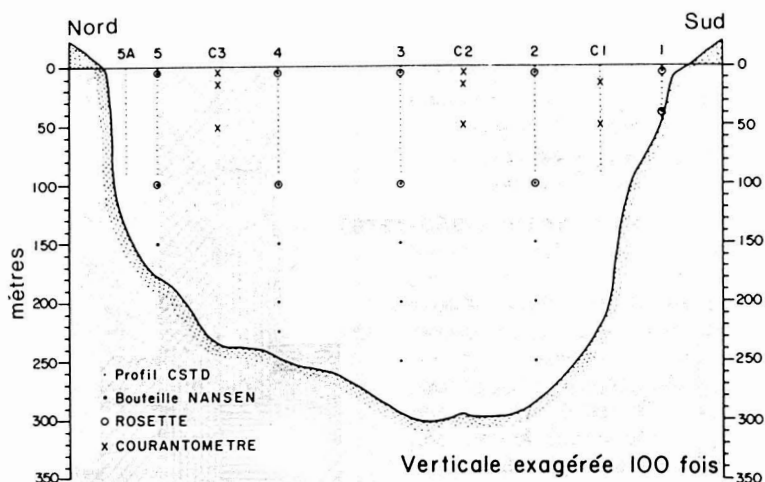


Figure 5. Stations échantillonnées sur la section transversale de Matane (sud) à Pointe-à-la-Croix (nord).

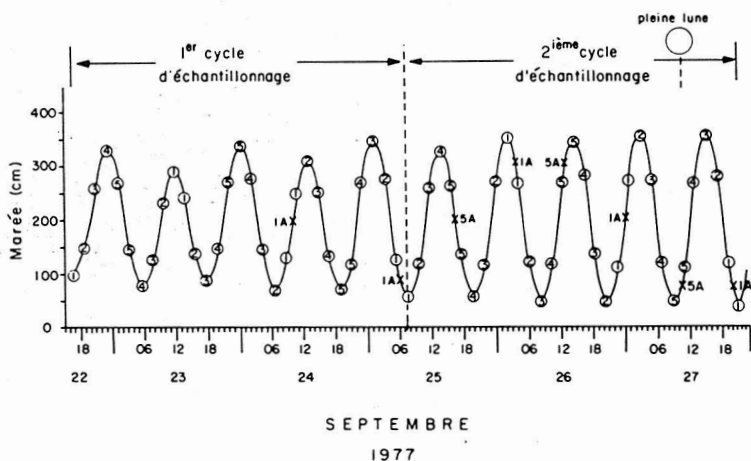


Figure 6. Mode d'échantillonnage adopté du 22 au 27 septembre 1977.

de profondeur et des mesures de salinité et de température faites à l'aide de bouteilles à renversement aux profondeurs standards plus grandes.

Trois lignes de courantographes C1, C2, et C3 furent mouillées entre les stations (fig. 5) pour une période de 35 jours afin de calibrer les courants géostrophiques relatifs et de vérifier l'existence dans la couche de surface d'un courant résiduel dirigé vers l'amont entre les stations 2 et 3. L'existence d'un tel courant durant le mode d'écoulement (4) aurait confirmé, au niveau de la section, l'hypothèse émise par Farquharson (1966) et par El-Sabh (1979) quant à la présence d'un tourbillon anticyclonique de circulation de surface des eaux dans l'estuaire

maritime du Saint-Laurent. Mais seule la ligne C1 fut récupérée et seules les données du courantographe à 17 mètres sous la surface furent jugées comme étant de bonne qualité. Finalement, des mesures de vent furent enregistrées à chaque station.

Les 60 profils verticaux de salinité et de température ont été calculés par la technique d'interpolation parabolique (Reiniger et Ross, 1968) à des intervalles de pression de 5 dbars; la moyenne des douze profils de salinité et de température correspondant à chacune des cinq stations a ensuite été obtenue. L'anomalie du volume massique a été calculée pour chaque intervalle de 5 dbars, et les courants géostrophiques relatifs à la surface évalués entre deux stations adja-

centes à ces mêmes intervalles. Trois méthodes de sélection d'une couche de référence pour le calcul des courants absolus ont été essayés: 1) la méthode de Defant (1961) qui situe cette couche à la profondeur où la différence des anomalies de hauteurs dynamiques entre deux stations est négligeable; 2) la méthode de Tully (1958) où la couche de mouvement nul correspond à la couche du gradient de densité vertical maximum; et 3) la méthode de Montgomery (1941) qui considère le fond marin comme étant la couche de référence. C'est avec cette dernière que les calculs ont été effectués, car les résultats sont les plus conformes aux mesures directes de courants effectuées dans cette zone. La couche de référence fut donc choisie à 290 dbars. Les courants et les transports géostrophiques obtenus ont ensuite été ajustés afin de satisfaire la condition d'un transport net de sel nul à travers la section, tel que proposé par Forrester et El-Sabh (1974). D'après ces auteurs, un tel ajustement nécessite un échantillonnage du champ de masse durant plusieurs cycles de marée. Cependant, le nombre de cycles de marée ou plutôt l'intervalle du temps d'échantillonnage ne fut pas précisé. En se fiant aux travaux de Farquharson (1966) cet intervalle peut être quantifié de la façon suivante: pour un débit d'eau douce constant, un transport net de sel nul à une section surviendrait après un cycle complet des quatre modes de circulation résiduelle dans l'Estuaire. Ce cycle dure 14 jours. Un transport géostrophique net calculé pour un cycle de 14 jours et ajusté afin de satisfaire la condition d'un transport net de sel nul serait alors équivalent au débit d'eau douce moyen à la section durant ces 14 jours. Sinclair *et al.* (1976), et El-Sabh (1975) ont obtenu une telle équivalence, mais avec un transport net d'eau calculé à partir de données de masse volumique recueillies pendant plusieurs cycles de marée, et ajusté selon la méthode de Forrester et El-Sabh (1974).

Donc si cette méthode est applicable au transport net d'eau calculé pendant un cycle de 14 jours, elle doit l'être pour chacune des quatre parties de ce cycle, y compris les 3 1/2 jours durant lesquels l'Estuaire se remplit; l'intégral sur 14 jours des quatre transports ajustés, correspondant aux quatre modes d'écoulement, sera équivalent à la quantité d'eau douce ayant passé par la section durant ce cycle. C'est pourquoi la condition d'un transport net de sel

nul fut imposée au transport géostrophique calculé pour la période à laquelle l'Estuaire se remplit.

Le mode d'échantillonnage des salinité et température conçu et mis en œuvre pour cette étude fut simultanément appliqué à une autre section en amont de Matane (fig. 1C), mais les résultats (El-Sabh, non publié) seront présentés ailleurs.

Les paramètres mesurés simultanément au champ de masse à la section de Matane — Pointe-à-la-Croix sont les spectres de taille des particules en suspension, leur concentration, leur contenu en carbone, azote, chlorophylle et ATP, ainsi que les concentrations des métaux en traces (Cd, Pb, Mn, Fe, Cu et Zn) particulaires et «solubles». L'échantillonnage a été effectué à deux profondeurs: 5 et 40 mètres à la station 1 et, 5 et 100 mètres aux stations 2 à 5, à l'aide d'un échantillonneur à grand volume (Poulet *et al.*, 1978). Chaque station a été échantillonnée à 6 phases différentes de la marée (MB, MB + 2, MB + 4, MH, MH + 2, MH + 4). L'analyse des concentrations moyennes et les variations de ces paramètres à l'embouchure de l'Estuaire seront aussi présentées ailleurs.

Résultats et discussion

CARACTÉRISTIQUES DES MASSES D'EAU

Les distributions spatiales de la salinité, de la température et de la densité (σ_t) moyennes de la section Matane — Pointe-à-la-Croix au mois de septembre 1977, lors d'un écoulement résiduel du type (4) sont présentées à la figure 7. On y trouve aussi les courants géostrophiques perpendiculaires à la section durant cette période.

Les trois couches thermiques décrites par Hachey *et al.* (1956) sont bien évidentes à l'embouchure de l'Estuaire en septembre; les températures moyennes extrêmes se retrouvent à la station 5 en surface (7,80° C) et à 80 mètres de profondeur à la station 2 (0,29° C); près du fond la température dépasse 4,0° C. La distribution spatiale de la température est caractérisée par la présence constante durant l'expérience d'un noyau d'eaux intermédiaires froides (< 1° C) près de la rive sud entre 50 et 100 mètres, possédant toutefois une température supérieure à 0° C. Neu (1970) avait aussi décelé un tel noyau près de la rive nord en mai, alors que le débit d'eau douce était à son plus haut niveau à cette même section.

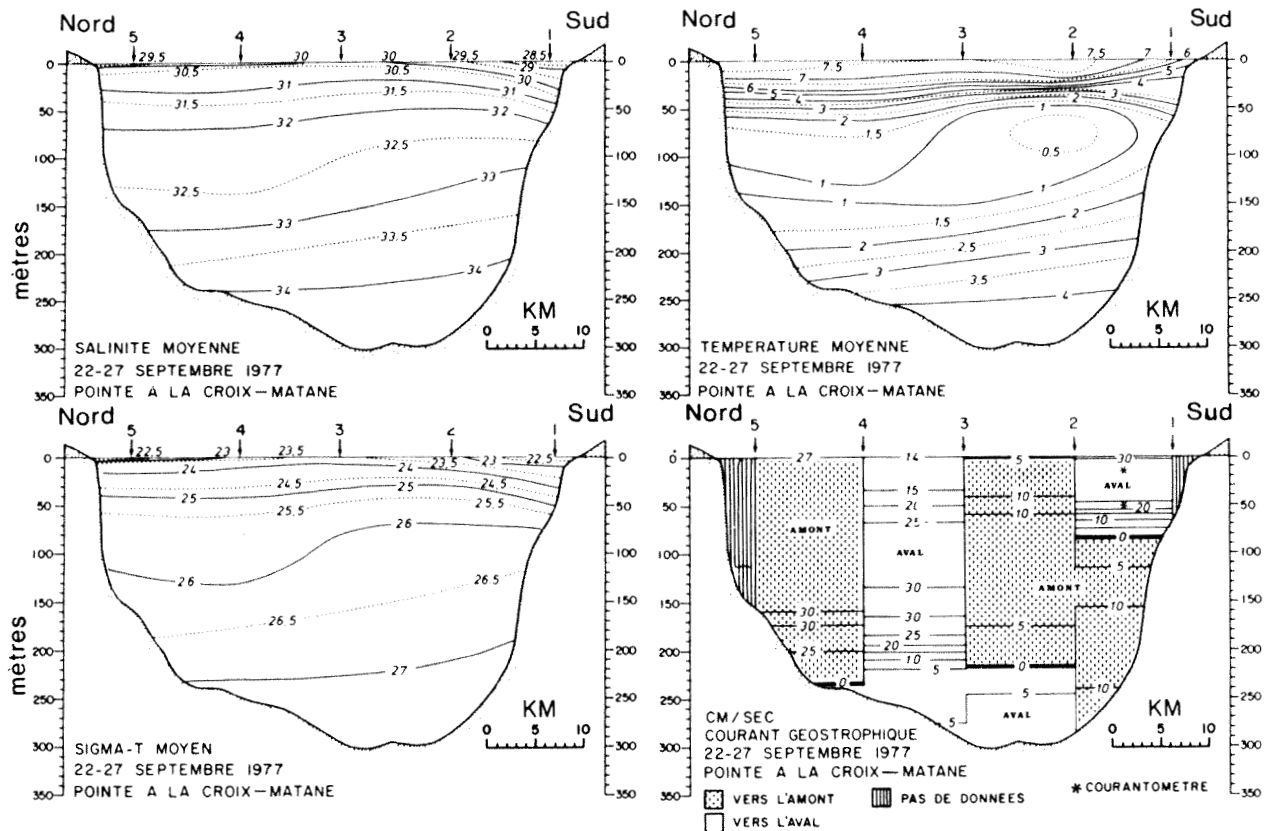


Figure 7. Salinité, température et densité (Sigma T) moyennes du 22 au 27 septembre 1977, et courants géostrophiques calculés pour cette période.

Les salinités moyennes mettent en évidence la présence en surface d'eaux relativement douces près des deux rives avec des valeurs de 28,25‰ et 29,20‰ à la station 1 et 5 respectivement; la salinité des eaux près du fond est caractéristique des eaux profondes du Golfe, c'est-à-dire supérieure à 34,0‰. Le champ de masse moyen exhibe de fortes inclinaisons par rapport au plan horizontal; ceci est évident près de la rive sud en raison de la présence de larges quantités d'eaux de faible densité, entre les stations 2 et 3 à cause d'une entrée d'eau salée en surface, et aussi en profondeur près de la rive nord.

Les masses d'eau à différentes stations dans une région côtière peuvent être comparées sur un diagramme T-S à la condition que les mesures de température et de salinité à ces stations aient toutes été effectuées au même instant ou presque (Hardy, 1975), ou bien que les températures et les

salinités mises en diagramme soient des valeurs moyennes. La figure 8 permet de comparer les diagrammes T-S construits avec les valeurs moyennes de température et de salinité des cinq stations occupées douze fois chacune. Les masses d'eau à la station 1 se distinguent nettement de celles des autres stations; elles reflètent la présence du courant baroclinique dirigé vers le Golfe en longeant la rive sud en surface. Les diagrammes T-S des stations 2 à 5 exhibent des caractéristiques similaires: la présence de trois couches d'eau définies par les isopycnes (σ_t) de 23 à 24, 24 à 26, et 26 à 27 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et plus, la profondeur de ces couches variant un peu d'une station à une autre.

COURANTS ET TRANSPORT GÉOSTROPHIQUES

Les forts gradients horizontaux de pression résultant de l'inclinaison des isopycnes par rapport au plan horizontal donnent lieu à

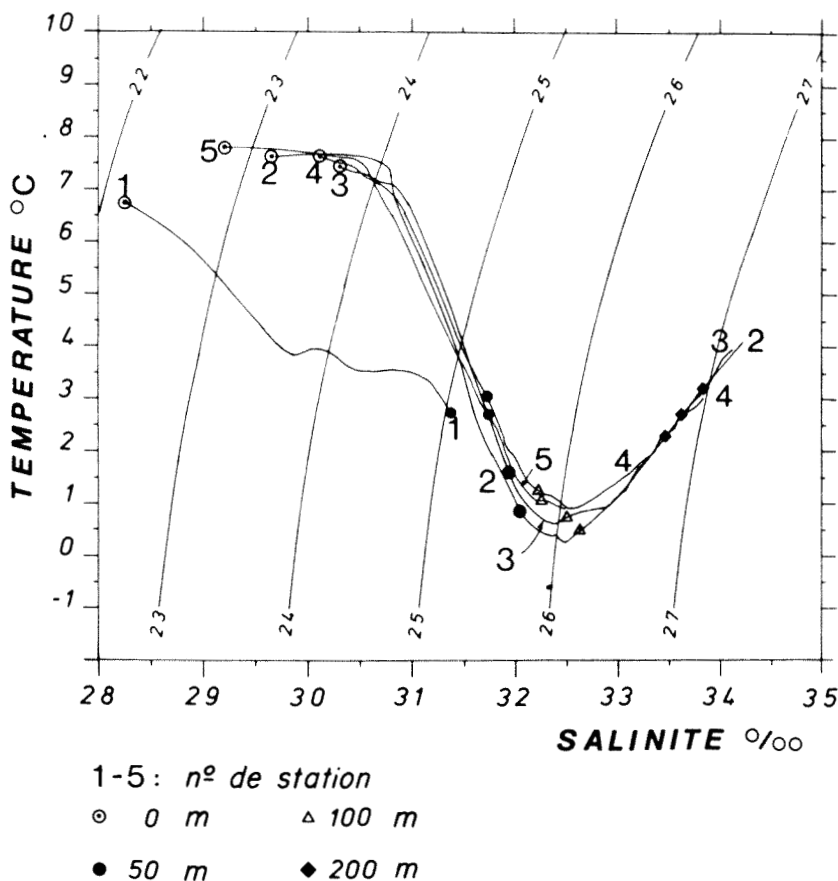


Figure 8. Diagrammes T-S aux stations 1 à 5. Les isopycnes (σ_t) de 22 à 27 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ sont incluses.

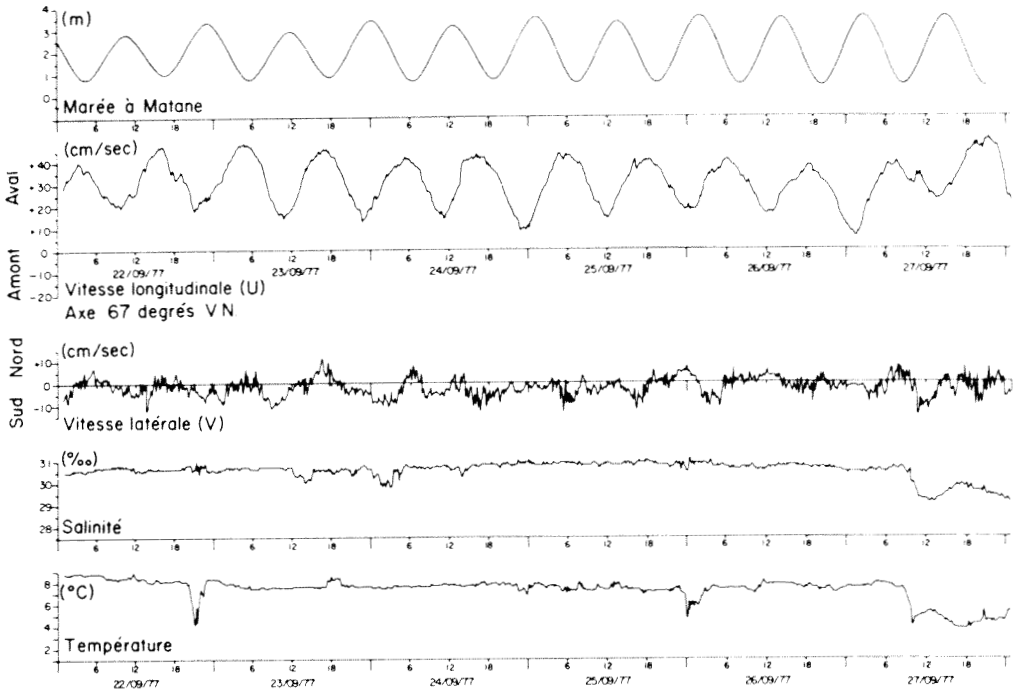


Figure 9. Marée, courant longitudinal (U) et latéraux (V), salinité et température à chaque 10 min., à 17 mètres de profondeur, à la station Cl.

de forts courants géostrophiques perpendiculaires à la section (fig. 7). Ainsi on décelé des courants de 30 cm/s en profondeur près de la rive nord et dans la couche de surface près de la rive sud. Les données enregistrées du 22 au 27 septembre 1977 par le courantographe Aanderaa placé à 17 m sous la surface entre la station 1 et 2 sont présentées à la figure 9. On remarque d'abord que le courant longitudinal (U) est orienté vers l'aval durant toute la période de mesure, tout comme le courant géostrophique; par ailleurs, le courant latéral (V) est presque nul, ce qui signifie que durant toute la durée d'échantillonnage, le courant à cet endroit était exactement perpendiculaire à la section. Lorsque la moyenne du courant (U), enregistré à chaque 10 minutes, est effectuée pour la période du 22 au 27 septembre 1977, le courant résiduel obtenu est de 29,9 cm/s, alors que le courant géostrophique perpendiculaire à la section calculé pour la même période à la même profondeur est de 28,2 cm/s. Les calculs géostrophiques sont ainsi vérifiés, du moins pour cette partie de la section.

La distribution spatiale du transport absolu de volume d'eau à travers la section pendant l'échantillonnage est illustrée à la figure 10a. Il se répartit comme suit: 186 000 m³/s sortent de l'Estuaire en surface près de la rive sud, 211 500 m³/s entrent sous la couche sortante et entre les stations 2 et 3 jusqu'à 220 m de profondeur, 629 800 m³/s sortent de l'Estuaire entre les stations 3 et 4 et au fond du chenal Laurentien, et 610 500 m³/s entrent dans l'Estuaire près de la rive nord. À l'aide de données de courantographes, Farquharson (1966) avait obtenu, pendant le mode d'écoulement (4), une distribution spatiale du transport très similaire, mais n'avait pas décelé de sortie d'eau au fond du chenal Laurentien. Il en décela par contre pour les modes de circulation 1 et 2 qui surviennent après le mode (4) dans le temps. Lorsque le transport à chaque intervalle de profondeur est intégré sur la longueur de la section, on distingue trois strates (fig. 10b). Dans les premiers 60 mètres, l'eau sort de l'Estuaire, de 60 à 220 mètres l'eau y pénètre et de 220 mètres jusqu'au fond, l'eau en ressort. Le transport

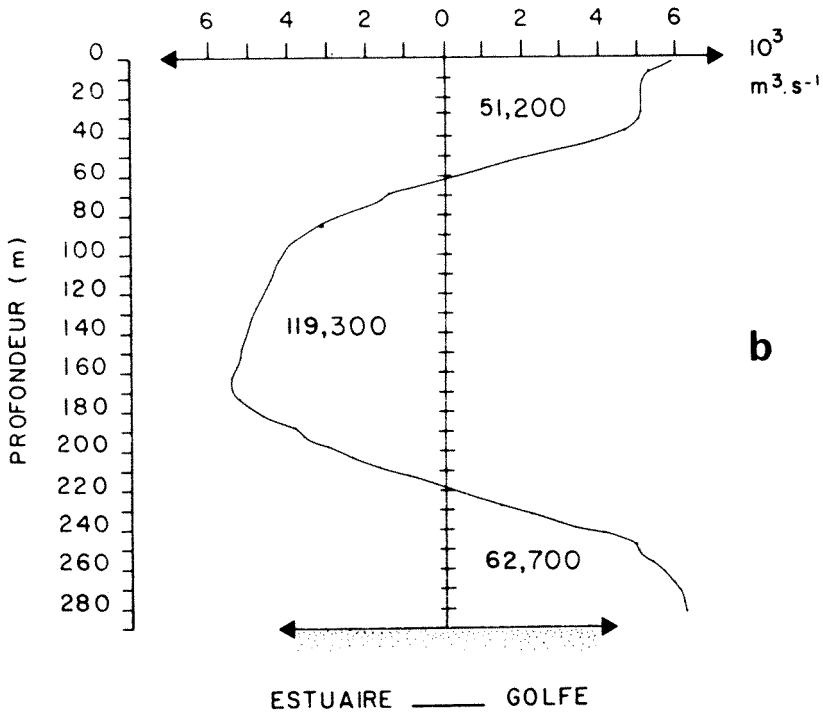
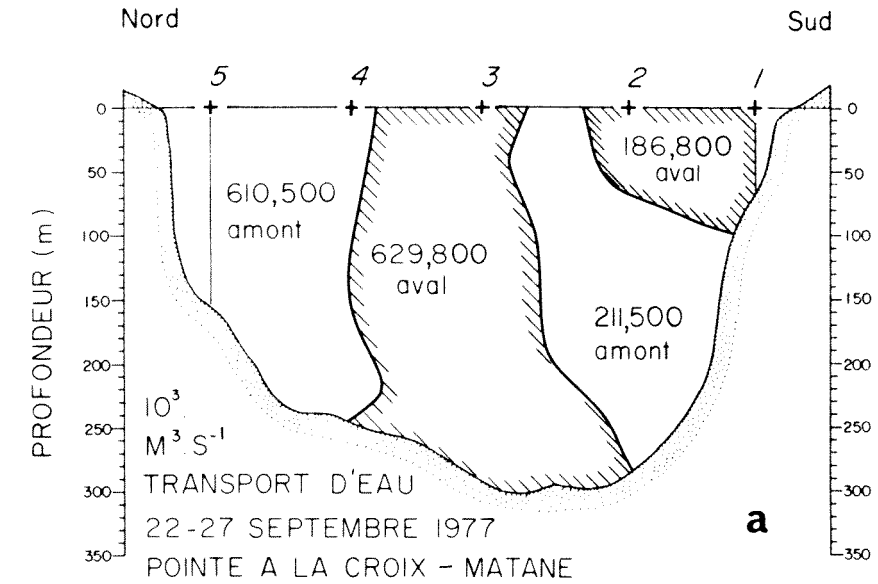


Figure 10. Transport de volume d'eau ($10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$). (a) Variation spatiale. (b) Intégré sur la largeur de l'Estuaire.

net est dirigé vers l'amont à un taux de 5 400 m³/s. Cette direction est conforme au fait que l'Estuaire se remplit durant cette phase particulière de la lune. En effet, lorsque le niveau moyen journalier de l'eau à Québec (H_j) est calculé pour le mois de septembre (Pêches et Environnement Canada, 1977) et que le niveau moyen mensuel (H) lui est soustrait, l'évolution journalière de la différence (ΔH) indique que le niveau de l'eau à la tête de l'Estuaire a augmenté du 22 au 27 septembre 1977 d'environ 30 cm, (fig. 11). Parallèlement, lorsque le transport net de 5 400 m³/s est intégré du 22 au 27 septembre, et que le volume d'eau résultant est distribué également sur l'air superficielle de l'Estuaire entre Matane et Québec, le niveau moyen de l'eau subirait une élévation de près de 30 cm, tel qu'observé à Québec pour la même période de temps. Ceci confirme le remplissage de l'Estuaire durant le mode d'écoulement (4), à un taux de près de 5400 m³/s. La méthode du transport net de sel nul (Forrester et El-Sabh, 1974) se voit ainsi justifiée, même lorsqu'appliquée à une période de temps durant laquelle ce transport n'est pas nul.

Il serait toutefois souhaitable d'avoir plus de données directes de courants, salinités et températures, couvrant deux cycles de 14 jours ou plus, afin de pouvoir d'une part mieux décrire les transports de masses d'eau associés à chacun des modes d'écoulement, et d'autre part vérifier la bonne concordance

entre les mesures et les calculs de transport sur plusieurs modes d'écoulement dans l'estuaire du Saint-Laurent.

UN MOUVEMENT STATIONNAIRE DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT ?

Les hypothèses émises lors du calcul des courants à l'aide de l'équation géostrophique sont les suivantes : la friction tangentielle du vent à la surface de l'eau est négligeable, les accélérations induites au mouvement par la marée sont négligeables, et l'écoulement est stationnaire dans le temps.

La vitesse et la direction du vent enregistrées à chaque deux heures sur le M/V TECHNO CANADA apparaissent sur la figure 12 de même que les enregistrements de vents à Baie-Comeau et ceux des deux traversiers assurant la liaison entre Matane et Baie-Comeau, et cela pour la période du 22 au 27 septembre 1977. En général, les vitesses mesurées à bord du navire étaient inférieures à 20 km/h, à l'exception du 26 septembre alors que les vents ont atteint 35 km/h. Plusieurs périodes de vents calmes furent enregistrées. Une alternance presque cyclique des deux directions prédominantes du vent dans l'Estuaire (NE et SO) semble aussi se dégager des enregistrements. Cette alternance dans la direction du vent, conjuguée aux faibles vitesses de celui-ci permettent de considérer la tension de cisaillement du vent à la surface de l'eau négligeable durant la période de mesure.

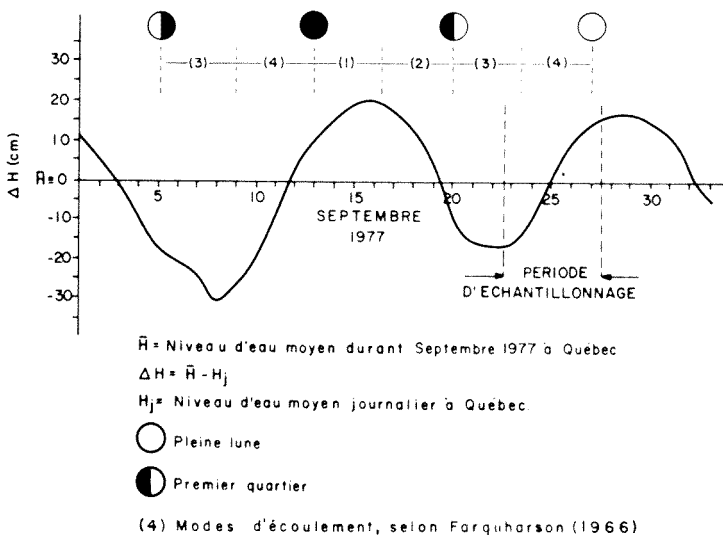
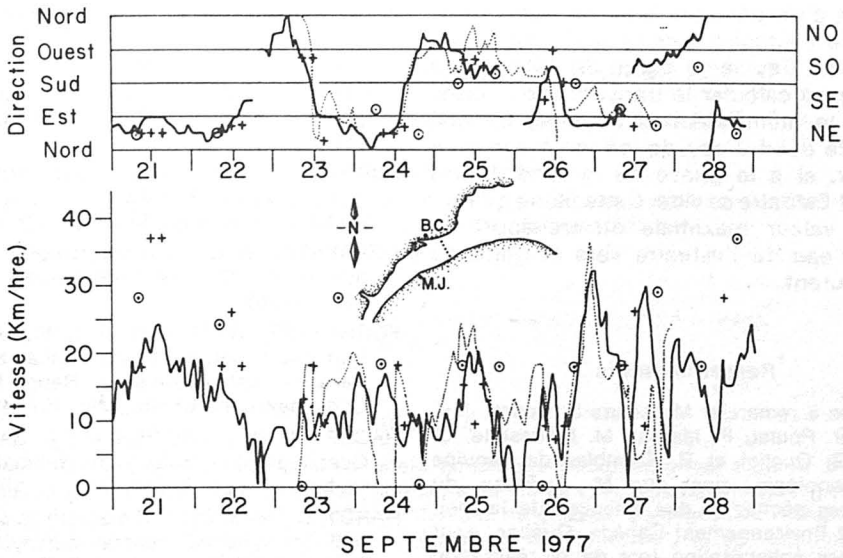


Figure 11. Évolution journalière du niveau d'eau à Québec durant le mois de septembre 1977.



DONNEES DE VENT:

— BAIE-COMEAU ○ M.V. SIEURS D'AMOURS
 M.V. TECHNO-CANADA + M.V. CAMILLE MARCOUX

Figure 12. Enregistrements des vents du 22 au 27 septembre 1977.

Les accélérations induites par la marée durant la période de mesures furent filtrées par le mode d'échantillonnage adopté et enlevées de l'équation de mouvement. L'hypothèse d'un mouvement stationnaire semble être vérifiée par la constance dans le temps des mesures de courant, de salinité et de température à la station C1 (fig. 9). On y remarque en effet que, du 22 au 27 septembre 1977, le courant varie uniquement en fonction de la marée. Cette régularité dans l'écoulement semble se perturber seulement le 27 septembre, date de la pleine lune et du début du mode d'écoulement 1. Le même phénomène est observé dans les enregistrements chronologiques de salinité et température; la stabilité de ces paramètres ne semble même pas être affectée par la marée semi-diurne. Mais, subitement, le 27 septembre l'écoulement change et l'arrivée d'une masse d'eau moins salée et plus froide est enregistrée. L'écoulement résiduel semble donc être stationnaire dans l'Estuaire maritime seulement à l'intérieur de chacun des quatre modes d'écoulement, c'est-à-dire lorsque l'Estuaire est à son plus haut niveau, lorsqu'il se vide, lorsqu'il est à son plus bas niveau, ou bien lorsqu'il se remplit. Il serait préférable toutefois d'effectuer de telles mesures temporelles à plusieurs endroits sur

la section, simultanément, et pour une période excédant un mois lunaire afin de mieux résoudre le concept d'un écoulement stationnaire dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude près de l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent ont permis de mettre en évidence les caractéristiques suivantes:

- 1) Un transport net dirigé vers l'amont à la fois durant les quatre jours qui précèdent la pleine lune et durant un mois où le débit d'eau douce à l'embouchure est faible;
- 2) Une forte variation latérale et verticale du transport des masses d'eau durant cette époque, caractérisée par une sortie des eaux estuariennes près de la rive sud, au large de la rive nord, et près du fond;
- 3) La présence d'un noyau d'eau froide intermédiaire près de la rive sud durant le remplissage de l'Estuaire;
- 4) La possibilité d'un écoulement stationnaire à l'intérieur d'une des quatre phases semi-mensuelles de la lune.

Le modèle d'échantillonnage développé lors de cette étude permet le calcul du

transport d'un polluant, ou d'un autre paramètre, de l'estuaire vers le golfe du Saint-Laurent. La deuxième partie de cette étude consistera à calculer le transport de masses d'eau à la même section au mois de mai lorsque le débit d'eau douce est à son plus fort taux, et à la phase de la lune durant laquelle l'Estuaire se vide. Cette étude quantifiera la valeur maximale du transport de masse d'eau de l'estuaire vers le golfe du Saint-Laurent.

Remerciements

Je tiens à remercier Messieurs D. Cossa, J.-P. Chanut, S. Poulet, P. Marsot, M. Morissette, G. Canuel, G. Ouellet et R. Tremblay de l'équipe INRS-Océanologie, ainsi que M. J. Piuze, du Service des pêches et des sciences de la mer, Pêches et Environnement Canada, Québec, pour leur entière collaboration lors de la réalisation de cette étude. Par ailleurs, les critiques et l'expérience de M. M. I. El-Sabh du Département d'océanographie de l'Université du Québec à Rimouski en calculs géostrophiques furent fortement appréciés. Je tiens aussi à remercier M. M. Gagnon de l'INRS-Océanologie pour le mouillage et la récupération des courantographes, et pour son support en informatique, et Mlle E. Goulet pour son travail dactylographique. Cette étude a été subventionnée par le Ministère de l'éducation du Québec.

Références

- BEWERS, J. M. and P. A. YEATS, 1977. Oceanic residence times of trace metals. — *Nature*, (Lond.), 268: 595-598.
- CARRIER, Y., 1976. Reconstitution des débits du Fleuve St-Laurent. — Service de l'Hydrométrie, Min. des Richesses Naturelles, Québec, 50 p.
- DEFANT, A. 1961. *Physical Oceanography*. Pergamon Press, Loncon, Vol. I, 729 pp.
- EL-SABH, M. I., 1974. Oceanographic features at Rimouski section, Estuary of the St. Lawrence River. — *EOS*, 56(12): 1134.
- EL-SABH, M. I., 1975. Transport and currents in the Gulf of St. Lawrence. — Bedford Inst. Oceanogr. Rep. Ser. N° BI-R-75-9: 180 p.
- EL-SABH, M. I., 1979. The lower St. Lawrence Estuary as a physical oceanographic system. — *Naturaliste can.*, 106 (1/2): 55-73.
- EL-SABH, M. I., and V. G. KOUTITONSKY, 1977. An oceanographic study of James Bay before the completion of the La Grande hydroelectric complex. — *Arctic*, 30(3): 169-186.
- FARQUHARSON, W. I., 1966. St. Lawrence Estuary current surveys. — Bedford Inst. Oceanogr., MS Rep. N° 66-5: 84 p.
- FOMIN, L. M., 1964. *The Dynamic method in Oceanography*. Elsevier Publishing Company, N. Y., 212 p.
- FORRESTER, W. D., 1967. Currents and geostrophic currents in the St. Lawrence Estuary. — Bedford Inst. Oceanogr., MS Rep. N° 67-5: 175 p.
- FORRESTER, W. D., 1970. Geostrophic approximation in the St. Lawrence Estuary. — *Tellus*, 22(1): 53-65.
- FORRESTER, W. D. and M. I. EL-SABH, 1974. Principle of salt continuity applied to estuarine transport calculations. — *Rapp. P.-v. Réunion. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 167: 49-52.
- HACHEY, M. B., L. LAUZIER, and W. BAILEY, 1956. Oceanographic features of Submarine topography. — *Trans. R. Soc. Can., L. (III)*: 67-81.
- HARDY, C., 1975. The T-S diagram as a diagnostic tool in synoptic coastal survey. — *Plessey Environmental Systems, STD Conference and Workshop Proceedings*, Feb. 12-14, 1975. San Diego, California.
- MONTGOMERY, R. B., 1941. Transport of the Florida current off Habana. — *J. Mar. Res.*, 4(3): 198-218.
- MURTY, T. and M. I. EL-SABH, 1977. Transverse currents in the St. Lawrence Estuary: A theoretical treatment. In: R. J. GIBBS (ed.) *Transport processes in lakes and oceans*. Plenum publishing corporation, N. Y.: 35-62.
- NEU, H.J.A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence Estuary up to 1964. — Bedford Inst. Oceanogr. AOL Report 1970-9: 31 p.
- PÊCHES ET ENVIRONNEMENT CANADA, 1977. *Tables de marées et courants du Canada, 1977. Vol. 3. — Service des pêches et sciences de la mer*, Environnement Canada, Ottawa.
- POULET, S. A., D. COSSA et M. MORISSETTE, 1978. Échantillonneur de grand volume d'eau pour l'étude pluridisciplinaire du seston. — *Naturaliste can.*, 105(5): 375-382.
- REINIGER, R. F., and C. K. ROSS, 1978. A method of interpolation with application to oceanographic data. — *Deep-Sea Res.*, 15: 185-193.
- SINCLAIR, M., M. I. EL-SABH, and J.-R. BRINDLE, 1976. Seaward nutrient transport in the lower St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 1271-1277.
- TRITES, R. W., 1964. *Physical oceanographic studies of the St. Lawrence Estuary*. — Bedford Inst. Oceanogr., A. Rep. Investigator's summ., N° 7-8.
- TULLY, J. P., 1958. On structure, entrainment and transport in estuarine embayments. — *J. Mar. Res.*, 17: 523-535.

MOUVEMENTS DES EAUX INDUITS PAR LA MARÉE ET LE VENT DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

M. I. EL-SABH, L. LÉVESQUE

*Département d'Océanographie, Université du Québec à Rimouski,
300 avenue des Ursulines, Rimouski, Québec G5L 3A1*

et

T. S. MURTY

*Institute of Ocean Sciences, Department of Fisheries and the Oceans,
Sidney, B. C.*

Résumé

Nous avons développé un modèle numérique bi-dimensionnel dans le but d'étudier les mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent. À l'aide de différences centrées et de grillages conjugués de Richardson, nous intégrons dans le temps les équations de mouvement et de continuité sous forme de coordonnées polaires sphériques, jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint. Dans le cas de la marée oscillante, le terme de force génératrice directe de la marée est considéré nul, et la composante de la marée observée est donnée à l'entrée de l'Estuaire. On fait des passages en machine séparée pour M_2 , S_2 , N_2 , K_1 et O_1 et pour la marée totale. Dans le cas de la marée indépendante, nous imposons une condition limite d'entrée fermée avec transports d'eau nul, et faisons le passage en machine pour les forces génératrices directes M_2 et K_1 . Compte tenu des conditions aux extrémités et en utilisant les équations aux différences finies, le modèle génère pour le reste de l'Estuaire les mouvements verticaux et horizontaux des ondes de marée prenant en compte la topographie, la profondeur, la force de Coriolis, le frottement sur le fond, le gradient de pression atmosphérique et le vent. Dans ce modèle on utilise la forme quadratique du frottement. Ce document se veut une description du modèle, des hypothèses de base, et une analyse des résultats. Cette analyse est basée sur l'étude des lignes de coamplitude et de cophase, sur les variations dans le temps du niveau de l'eau sous l'influence de chacune des composantes et de l'ensemble, sur le contour des niveaux d'eau ainsi qu'une analyse des courants de marée à différents moments. En général, les résultats du modèle correspondent bien qualitativement avec ceux des travaux antérieurs et avec les observations des marégraphes installés à terre.

Abstract

A two-dimensional numerical model is developed to study the water level oscillation and horizontal movement due to wind and tide in the St. Lawrence Estuary. Using centered differences scheme and conjugate Richardson lattices, the equations of movements and continuity in spherical polar coordinates are integrated in time until cyclic equilibrium is reached. For the cooscillating tide, the direct tidal forcing term is set to zero, and the observed tidal constituent is specified at the mouth of the Estuary. Separate runs are made for the five important tidal constituents in the Estuary namely M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , and O_1 and also for the total tide. For the independant tide, the closed mouth boundary condition of zero water transport is imposed, and the model run for the N_2 and K_1 direct tidal forcing. Knowing the boundary conditions, the model generated for the rest of the Estuary water level oscillations and horizontal movements by taken into account the topography, depth variation, Coriolis force, quadratic bottom friction, atmospheric pressure and wind stress. The present study describes in detail the numerical model and discusses some of the results obtained based on the analysis of the distribution of coamplitude and cophase lines, variation in time of water levels and tidal currents. Over all, the model gives good qualitative agreement with previous work and shore-based observations.

Introduction

Étant la voie principale de communication entre l'océan Atlantique et les Grands Lacs, l'estuaire du Saint-Laurent a joué un rôle de première importance dans le développement de l'est du Canada et du centre des États-Unis. L'importance de la navigation et le haut niveau de productivité biologique ont facilité le développement des agglomérations le long des côtes, d'où l'apparition de plusieurs industries qui, jumelées à l'activité humaine, dispersent des polluants dans le milieu marin. L'évaluation des niveaux du mélange des marées et du transport d'eau exige une compréhension plus complète de la propagation de la marée dans le système ce qui est présentement obtenu à partir des analyses empiriques.

Les modèles développés antérieurement par Vincent (1965), Partensky et Louchard (1967), Kamphuis (1968), Partensky et Warmoes (1970), Ouellet et Cheylus (1971) et Partensky et Marche (1974) sont tous de nature analytique et n'incluent pas la topographie d'une manière aussi raffinée qu'il est possible de le faire dans un modèle numérique. Prandle et Crookshank (1974) furent les premiers à décrire la propagation de la marée dans l'Estuaire à partir de modèles numériques à une et deux dimensions. Ces modèles se limitent à Pointe-au-Père en aval et utilisent la marée réelle durant une période mensuelle. Lévesque (1977) et Lévesque *et al.* (1979) ont développé un modèle numérique bi-dimensionnel qui tient compte à la fois de la topographie et de la marée réelle et il calcule la marée totale comme une combinaison des cinq (5) principales composantes, à savoir M_2 , S_2 , N_2 , K_1 et O_1 . Dans ce modèle, qui couvre la région entre Île-aux-Coudres et Les Méchins, seules les forces directes de la marée sont employées; il ne tient pas compte de la marée indépendante, ni des variations du niveau de l'eau dues aux effets météorologiques.

Le modèle numérique développé ici est une continuité de ce qui a été fait par Lévesque (1977) et Lévesque *et al.* (1979). La région couverte s'étend de l'île d'Orléans à Pointe-des-Monts. En plus d'employer les données réelles comme entrée, il tient compte du gradient de pression atmosphérique, du vent, de la forme quadratique du frottement au lieu de la forme linéaire telle qu'employée par Lévesque (1977), et de la marée indépendante.

Modèle mathématique

Le modèle applique les forces à une masse d'eau à l'état de repos à partir des valeurs d'amplitude et de phase mesurées et des arguments astronomiques calculés. Ces forces sont transmises aux extrémités de l'Estuaire. Elles sont réappliquées jusqu'à ce que l'état d'équilibre soit atteint. À ce moment, les mouvements sont en concordance avec les ondes transmises aux extrémités de l'Estuaire. L'hypothèse d'une certaine homogénéité des masses d'eau nous amène à déduire que la pression est hydrostatique et elle permet de faire l'intégration verticale des équations de base qui sont par ailleurs dérivées de la théorie des ondes longues.

La limite amont a été fixée à l'île d'Orléans (fig. 1) là où l'eau douce commence à se mélanger à l'eau salée et de plus en amont de celle-ci, la largeur du fleuve n'est plus significative; ainsi l'utilisation d'un modèle unidimensionnel serait justifiée. En aval, la limite a été fixée à Pointe-des-Monts à cause de l'élargissement qui indique une pénétration dans le golfe du Saint-Laurent. Cette surface est divisée en 2 987 grilles rectangulaires de $(2,8 \times 3,7 \text{ km})$ $1,5 \times 2$ milles marins; les paramètres sont supposés uniformes dans chacune d'elles (fig. 1A). Notons que pour les vents, 12 grilles sont suffisantes pour couvrir l'Estuaire à cause de l'ordre de grandeur du système atmosphérique (fig. 1B).

Parmi les affluents, il n'y a que le fleuve Saint-Laurent qui a une influence considérable sur la marée à cause de son grand débit d'eau douce (moyenne de $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ à la hauteur de Québec) et de sa direction parallèle à l'Estuaire. C'est pourquoi une ouverture est laissée à l'île d'Orléans, pour éviter que les ondes soient réfléchies à cet endroit. De plus on suppose que les ondes de marées proviennent essentiellement de son ouverture sur le Golfe. Pour fonctionner, le modèle manipule les données à l'aide de la programmation des équations hydrodynamiques régissant la propagation des ondes longues telles la marée, qui sont les équations du mouvement et de continuité intégrées verticalement.

Les équations de base sont exprimées en coordonnées polaires sphériques donnant une meilleure stabilité dans le modèle numérique que le système cartésien.

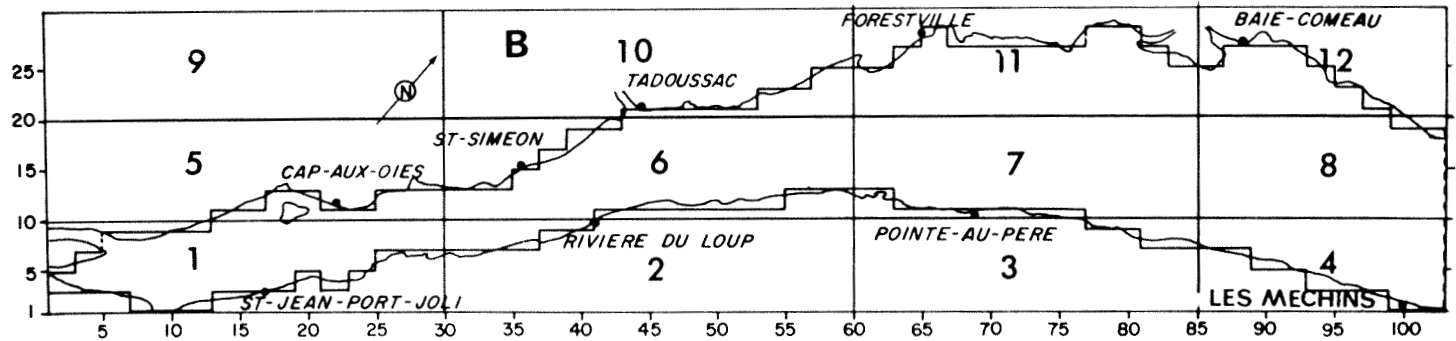
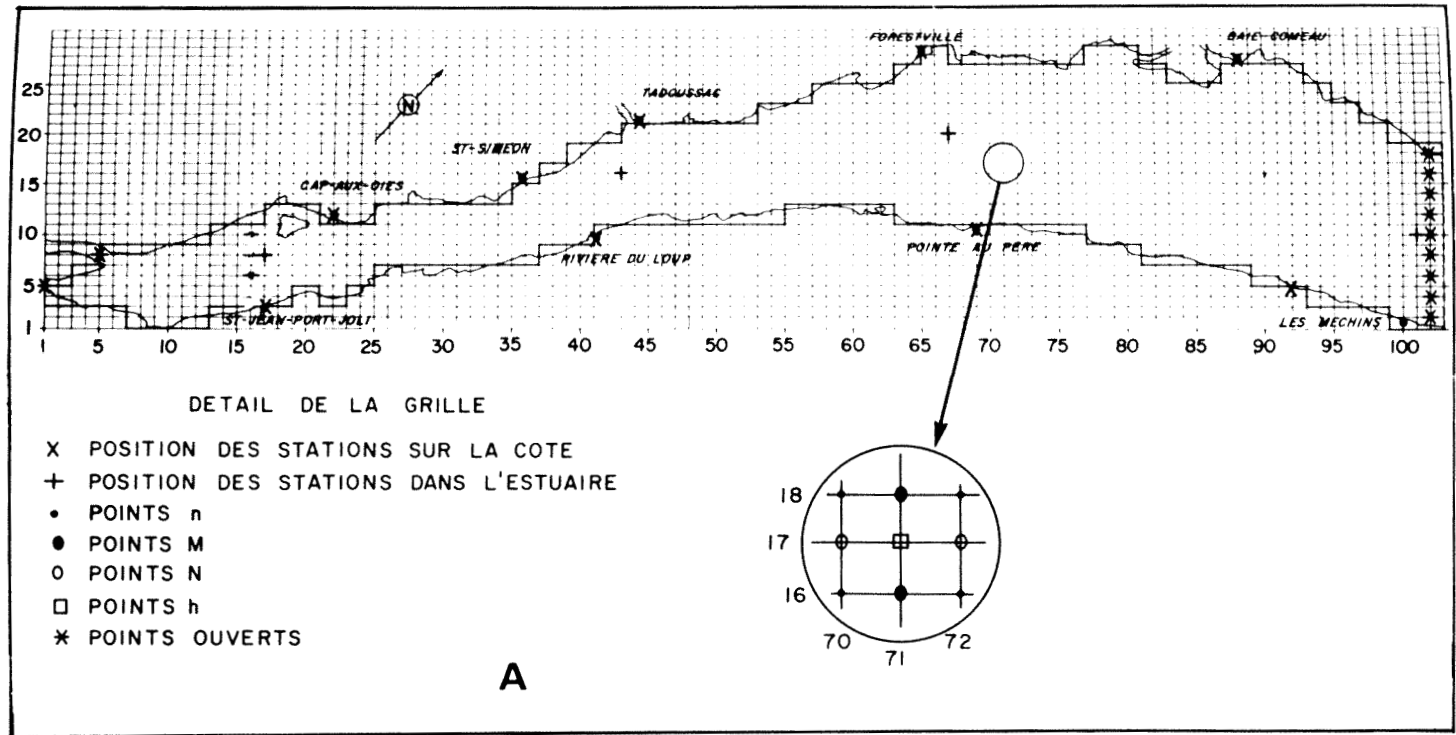


Figure 1. Détail de la grille utilisée (A) pour la marée et (B) pour le vent.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\frac{M}{a \cos \phi} \frac{\partial M}{\partial \chi} + \frac{N}{a} \frac{\partial M}{\partial \phi} - \frac{MN \operatorname{tg} \phi}{a} + 2\Omega N \sin \phi - \frac{gh}{a \cos \phi} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial \chi} - \frac{\tau_{B\chi}}{\rho} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial Pa}{\partial \chi} + \frac{\tau_{S\chi}}{\rho} - 48,8 \frac{hg}{a} \cos \phi \cdot \sin(\sigma_2 t + 2\chi + \sigma_2 T) - 28,5 \frac{hg}{a} \sin \phi \sin(\sigma_1 t + \chi + \sigma_1 T) \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\frac{M}{a \cos \phi} \frac{\partial N}{\partial \chi} + \frac{N}{a} \frac{\partial N}{\partial \phi} + \frac{MM \operatorname{tg} \phi}{a} - 2\Omega M \sin \phi - \frac{gh}{a} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} - \frac{\tau_{B\phi}}{\rho} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial Pa}{a \partial \phi} + \frac{\tau_{S\phi}}{\rho} - 48,8 \frac{hg}{a} \cos \phi \cdot \sin \phi \cdot \cos(\sigma_2 t + 2\chi + \sigma_2 T) - 28,5 \frac{hg}{a} (\sin^2 \phi - \cos^2 \phi) \cdot \cos(\sigma_1 t + \chi + \sigma_1 T) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{a \cos \phi} \left(\frac{\partial M}{\partial \chi} + \frac{\partial}{\partial \phi} (N \cos \phi) \right) \quad (3)$$

où χ la longitude est (positive), ϕ la latitude nord (positive), M la composante χ du transport, N la composante ϕ du transport, τ_B le coefficient de frottement sur le fond, τ_s le coefficient du frottement du vent, g la gravité, t le temps, P_a la pression atmosphérique, η la déviation du niveau de l'eau par rapport à la moyenne, $h(\chi, \phi)$ la profondeur de l'eau, ρ la densité de l'eau, a le rayon de la terre, Ω la vitesse angulaire de rotation de la terre, T le nombre d'heures GMT (Pour l'estuaire $T = -5$ heures),

$$-\frac{M}{a \cos \phi} \frac{\partial M}{\partial \chi} + \frac{N}{a} \frac{\partial M}{\partial \phi} - \frac{MN \operatorname{tg} \phi}{a} \quad \text{et}$$

$$-\frac{M}{a \cos \phi} \frac{\partial N}{\partial \chi} + \frac{N}{a} \frac{\partial N}{\partial \phi} + \frac{MM \operatorname{tg} \phi}{a}$$

sont les composantes χ et ϕ des termes advectifs, $2\Omega N \sin \phi$, $-2\Omega M \sin \phi$ la force Coriolis,

$$\frac{gh}{a} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial \phi} \quad \frac{gh}{a \cos \phi} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial \chi} \quad \text{le gradient du niveau de l'eau,}$$

$$\frac{\tau_{B\chi}}{\rho} + \frac{\tau_{B\phi}}{\rho} \quad \text{le frottement sur le fond,}$$

$$+ \frac{h}{\rho} \frac{\partial Pa}{\partial \chi}, \quad \frac{h}{\rho} \frac{\partial Pa}{a \partial \phi} \quad \text{le gradient de pression atmosphérique,}$$

$$\frac{\tau_{S\chi}}{\rho} \quad \frac{\tau_{S\phi}}{\rho} \quad \text{le frottement du vent,}$$

$$- 48,8 \frac{hg}{a} \cos \phi \cdot \sin(\sigma_2 t + 2\chi + \sigma_2 T)$$

$$- 48,8 \frac{hg}{a} \cos \phi \cdot \sin \phi \cdot \cos(\sigma_2 t + 2\chi + \sigma_2 T)$$

les composantes M_2 de la marée (12,42 heures) (Hamblin, 1976),

$$- 28,5 \frac{hg}{a} \sin \phi \sin(\sigma_1 t + \chi + \sigma_1 T)$$

$$- 28,5 \frac{hg}{a} (\sin^2 \phi - \cos^2 \phi) \cdot \cos(\sigma_1 t + \chi + \sigma_1 T)$$

composantes K_1 de la marée (23,93 heures),
et S_2, N_2, O_1 les autres composantes de la marée.

Parce qu'elle tient compte des variations de M et N , supposées uniformes dans la forme linéaire, nous avons employé la forme quadratique du frottement. Les composantes χ et ϕ de cette dernière s'expriment de la façon suivante:

$$T_{B\chi} = \rho R^1 \frac{\sqrt{M^2 + N^2} M}{h^2}, \quad T_{B\phi} = \rho R^1 \frac{\sqrt{M^2 + N^2} N}{h^2} \quad (4)$$

où le coefficient du frottement R^1 vaut .0025.

Au départ le modèle agit comme si toute la masse d'eau était inerte. Les forces sont appliquées sur ce système ce qui entraîne un certain mouvement. Ces forces sont réappliquées 24 secondes plus tard modifiant ainsi le mouvement engendré par ce même système de force appliqué 24 secondes plus tôt. Le système est ainsi forcé toutes les 24 secondes et ce pendant 196 heures. On constate qu'après 72 heures de fonctionnement, le mouvement atteint un état de stabilité. C'est à partir de ce moment que les variations verticales et horizontales peuvent être tirées du modèle.

Le système de force entraîne une variation du niveau de l'eau par rapport à la moyenne suivant une fonction cosinus de la forme:

$$\eta'_l(\chi, \phi) = A_l(\chi, \phi) \cos(\sigma_l - \Theta_l(\chi, \phi)) \quad (5)$$

η'_l : dénivellation par rapport à la moyenne, aux ouvertures
 l : est la composante; par exemple $l = 1$ correspond à M_2 .
 $A_l(\chi, \phi)$ et $\theta_l(\chi, \phi)$ sont respectivement l'amplitude et la phase observée de chaque composante et sont extraites des tables de marée.
 σ_l : fréquence de la marée pour la composante l .

Équations aux différences finies

Les dimensions de la grille sont de 103 points par 29 correspondant respectivement à des intervalles de $3,7 \times 2,8$ km. Les points η sont sur les limites qui coïncident avec les ouvertures aux extrémités qui sont sur une ligne paire et une colonne paire (Fig. 1) tandis que M et N restent à l'intérieur des points limites situés aux extrémités. L'utilisation des équations de différences finies nous amènent à calculer les niveaux d'eau (η) avec des sauts de temps pairs (i.e. $k = 2, 4, 6, \dots$) et à calculer le flux horizontal (M et N) avec des sauts de temps impairs.

Les équations utilisées sont :

$$\begin{aligned} \frac{M_{i,j}^{\kappa+1} - M_{i,j}^{\kappa-1}}{2 \Delta t} = & - \frac{M_{i,j}^{\kappa}}{a \cos \phi_j} \left[\frac{M_{i+1,j}^{\kappa} - M_{i-1,j}^{\kappa}}{2 \Delta \chi} \right] + \\ & \frac{N_{i,j}^{\kappa}}{a} \left[\frac{M_{i,j+1}^{\kappa} - M_{i,j-1}^{\kappa}}{2 \Delta \phi} \right] - \\ & \frac{M_{i,j}^{\kappa} N_{i,j}^{\kappa} t g \phi_j}{a} + 2 \Omega N_{i,j}^{\kappa} \sin \phi_j - \\ & \frac{g h_{i,j}}{a \cos \phi_j} \left[\frac{\eta_{i+1,j}^{\kappa} - \eta_{i-1,j}^{\kappa}}{2 \Delta \chi} \right] - \\ & \frac{1}{\rho} \tau_{\chi i,j}^{\kappa-1} + \frac{h_{i,j}}{\rho a} \rho_{i,j} + \\ & \frac{1}{\rho} \tau_{\chi i,j}^{\kappa} - \frac{48,8}{a} g h_{i,j} \\ & \cos \phi_j \sin (\sigma_2 t + 2 \chi + \sigma_2 T) - \\ & \frac{28,5}{a} g h_{i,j} \cdot \sin \phi_j \cdot \\ & \sin (\sigma_1 t + \chi + \sigma_1 T) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{i,j}^{\kappa+1} - N_{i,j}^{\kappa-1}}{2 \Delta t} = & - \frac{M_{i,j}^{\kappa}}{a \cos \phi_j} \left[\frac{N_{i+1,j}^{\kappa} - N_{i-1,j}^{\kappa}}{2 \Delta \chi} \right] + \\ & \frac{N_{i,j}^{\kappa}}{a} \left[\frac{N_{i,j+1}^{\kappa} - N_{i,j-1}^{\kappa}}{2 \Delta \phi} \right] + \\ & \frac{M_{i,j}^{\kappa} M_{i,j}^{\kappa} t g \phi_j}{a} - 2 \Omega M_{i,j}^{\kappa} \sin \phi_j - \\ & \frac{g h_{i,j}}{a} \left[\frac{\eta_{i,j+1}^{\kappa} - \eta_{i,j-1}^{\kappa}}{2 \Delta \phi} \right] - \\ & \frac{1}{\rho} \tau_{\phi i,j}^{\kappa-1} + \frac{h_{i,j}}{\rho a} \rho_{i,j} + \\ & \frac{1}{\rho} \tau_{\phi i,j}^{\kappa} - \frac{48,8}{a} g h_{i,j} \\ & \cos \phi_j \sin \phi_j \cdot \cos (\sigma_2 t + 2 \chi + \sigma_2 T) - \\ & \frac{28,5}{a} g h_{i,j} (\sin^2 \phi_j - \\ & \cos^2 \phi_j) \cos (\sigma_1 t + \chi + \sigma_1 T) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\eta_{i,j}^{\kappa+1} - \eta_{i,j}^{\kappa-1}}{2 \Delta t} = & - \frac{1}{a \cos \phi_j} \left[\frac{M_{i+1,j}^{\kappa} - M_{i,j}^{\kappa}}{2 \Delta \chi} + \right. \\ & \left. \frac{N_{i,j+1}^{\kappa} \cos \phi_{j+1} - N_{i,j-1}^{\kappa} \cos \phi_{j-1}}{2 \Delta \phi} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Un intervalle de temps d'une durée de 24 secondes est employé pour satisfaire les critères de stabilité dans les équations hyperboliques (Harris et Jelesnianski, 1964) de la façon suivante:

$$\delta t < [1 / (\sqrt{2} C_{\max})] \delta s < 4 \text{ minutes} \quad (9)$$

où δt est l'intervalle de temps, $\delta s = 2,78 \text{ km}$ est le plus petit intervalle spatial de la grille et C_{\max} ($\sim 44 \text{ m/s}$) est la vitesse de propagation de l'onde de gravité la plus rapide dans l'eau associée à des profondeurs plus grandes que h_{\max} ($\sim 200 \text{ m}$) (Freeman et Murty, 1976).

Dans la schématisation de la différence finie, les profondeurs sont lues pour chaque point de la grille sur des cartes fournies par le Service hydrographique canadien. Le sys-

tème utilise une moyenne de quatre points pour obtenir la profondeur finale d'un carreau donné. Comme nous l'avons déjà souligné, la condition initiale n'admet aucun mouvement et l'équilibre cyclique est généralement atteint après six cycles de marée; cependant, pour minimiser les risques d'erreur, on laisse le modèle travailler durant 96 heures avant d'utiliser les calculs. L'organigramme décrit sur la figure 2 nous donne une idée des étapes à franchir pour en arriver à calculer ces équations tout en tenant compte des contraintes déjà citées et finalement imprimer les résultats.

À la sortie, nous obtenons les calculs de M , N et η comme une fonction du temps. À partir de ces paramètres, on construit les courants horizontaux ainsi que les lignes de cophase et de coamplitude. On obtient les ellipses en reliant les extrémités de chacun des vecteurs courants d'un cycle de marée. Les lignes de coamplitude relient les valeurs maximales du champ (η) de tous les points de la grille. Les lignes de cophase dans la zone de temps ($Z + 5$) sont obtenues en contournant les lignes d'amplitude zéro. Les lignes de coamplitude nous permettent de voir de quelle façon la crête de l'onde se propage dans l'Estuaire. La phase pour sa part donne une indication sur la distance parcourue par l'onde dans un intervalle de temps donné.

Résultats et discussion

L'analyse des résultats nous a amené à faire deux grandes divisions pour bien comprendre la propagation de la marée dans l'Estuaire. C'est ainsi que d'une part nous analyserons les mouvements verticaux de l'eau en étudiant le comportement des lignes de cophase, de coamplitude et les niveaux d'eau pour chaque composante prise séparément. Ensuite nous regardons l'évolution des contours de niveau en fonction du temps et nous ferons une analyse de la variation des niveaux d'eau sous l'effet des cinq composantes prises globalement et en tenant compte du vent, de la pression atmosphérique et de la forme quadratique du frottement. L'étude de la propagation de la marée est complétée par l'analyse des mouvements horizontaux faite en traçant les ellipses de marée pour différentes stations autour de l'Estuaire et en étudiant les courants de marée entre l'île d'Orléans et Les Méchins.

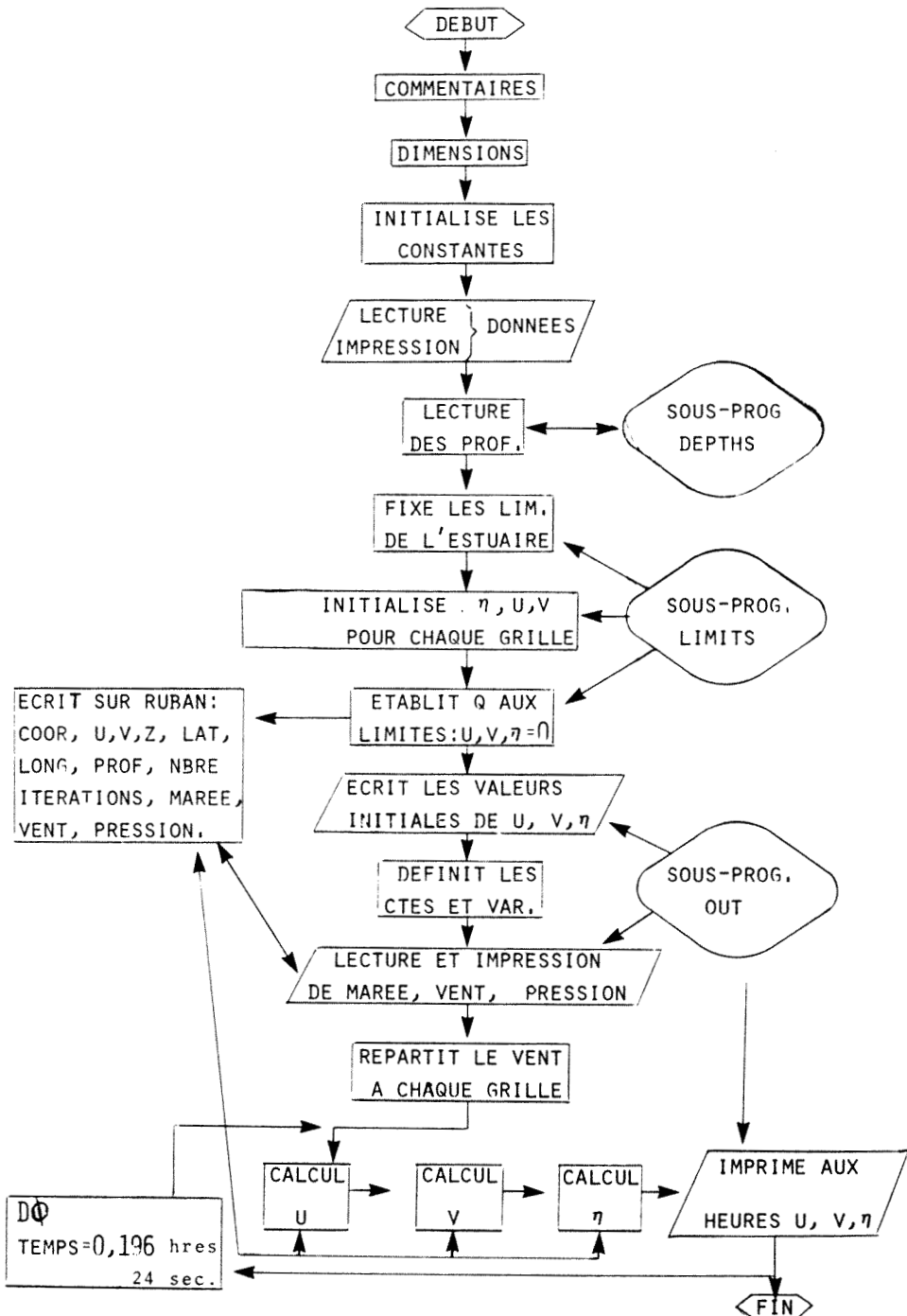


Figure 2. Organigramme du modèle utilisé dans la présente étude.

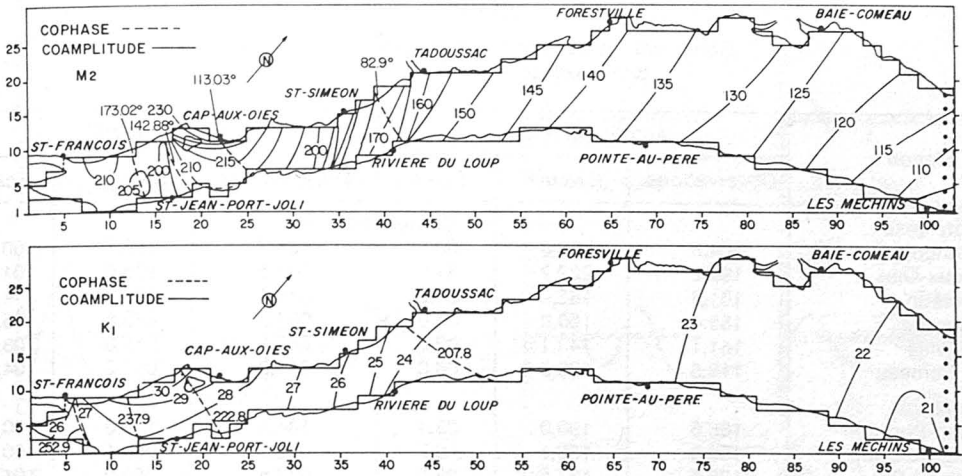


Figure 3. Cophase et coamplitude pour les composantes M_2 et K_1 dans l'Estuaire du Saint-Laurent.

MOUVEMENTS VERTICAUX DES NIVEAUX D'EAU

La figure 3 représente les lignes de coamplitude et de cophase pour les composantes de marée M_2 et K_1 . L'inclinaison des lignes de cophase indique que les ondes de marée pénètrent dans l'Estuaire sur la côte nord avant la côte sud. En direction de Québec, l'intensification des lignes de cophase nous indiquent une diminution rapide de la longueur d'onde. L'inclinaison des lignes de coamplitude laisse voir une surélévation sur la côte nord de 10 cm pour M_2 et 2 cm pour K_1 au niveau de Les Méchins. Cette surélévation est de l'ordre de 25 cm pour M_2 et 30 cm pour K_1 au niveau de Saint-Jean-Port-Jolie et nulle au niveau de l'île d'Orléans. Cette surélévation du niveau d'eau sur la rive nord est due d'une part à la direction d'entrée de l'onde de marée, d'autre part à la topographie générale du milieu qui favorise le refoulement de l'eau sur la côte nord, en ce sens que la direction de l'Estuaire change, la largeur diminue rapidement et finalement, les plus grandes profondeurs se retrouvent du côté nord si on examine une section transversale de l'Estuaire. L'intensification du nombre de lignes vers l'amont indique une diminution de la longueur d'onde, donc une diminution de la vitesse de l'onde de marée.

Les résultats calculés pour ces composantes ont été vérifiés pour quelques stations situées autour de l'Estuaire avec des données fournies par Environnement Canada et obtenues à partir de l'analyse harmonique des observations de marégra-

phes installés à ces stations. Le tableau 1 établit une comparaison entre les valeurs calculées et observées tout en indiquant l'écart entre celles-ci pour l'amplitude d'une part et la phase d'autre part. En général, nous constatons que le modèle correspond bien aux observations recueillies en nature.

Les résultats calculés pour les composantes S_2 , N_2 et O_1 (non indiquées ici) montrent que toutes ces composantes induisent des ondes qui se propagent dans l'Estuaire de la même manière que les composantes M_2 et K_1 . En effet, les lignes de coamplitude et de cophase ont la même inclinaison, une variation plus rapide au niveau du Saguenay et une certaine distortion dans la région de l'Île-aux-Coudres. L'intensité des lignes de coamplitude et de cophase varie d'une composante à l'autre et l'effet de chacune sur les niveaux d'eau est plus faible que celui de M_2 .

L'étude des résultats des deux constituants majeurs M_2 et K_1 , de la marée indépendante montre que dans l'Estuaire du Saint-Laurent la marée indépendante est négligeable et que la marée dans cet Estuaire est principalement une marée co-oscillante. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Freeman et Murty (1976) dans la baie d'Hudson où les amplitudes de K_1 , à l'inverse de M_2 , pour la marée indépendante sont jusqu'à 30% plus grandes que celles de K_1 de la marée co-oscillante.

La figure 4 donne les niveaux d'eau engendrés par M_2 aux douze (12) stations situées à différents endroits dans l'Estuaire

TABLEAU I
Composantes harmoniques M_2 et K_1 de la marée
dans l'estuaire du Saint-Laurent

Station	Amplitude (cm)			Phase (degré)*		
	Observations	Calculs	Écart	Observations	Calculs	Écart
<i>Composante M_2</i>						
a) CÔTE NORD						
St-François	204,8	204,8	00,0	157,7	157,7	00,0
Cap-aux-Oies	193,2	227,2	34,0	103,5	108,0	04,5
St-Siméon	161,5	185,0	24,5	089,4	085,3	-4,1
Tadoussac	155,4	160,0	04,6	067,8	073,5	05,7
Forestville	141,1	143,1	02,0	052,2	055,6	03,4
Baie Comeau	118,5	126,5	08,0	047,2	052,0	04,8
b) CÔTE SUD						
St-Jean-Port-Joli	186,6	190,0	03,4	134,2	135,0	00,8
Rivière-du-Loup	150,8	150,1	-0,7	079,9	080,1	00,2
Pointe-au-Père	126,6	137,6	06,0	053,6	055,0	01,4
Matane	114,0	116,0	02,0	049,0	052,3	03,3
Les Méchins	093,1	102,0	08,9	048,0	051,0	03,0
<i>Composante K_1</i>						
a) CÔTE NORD						
St-François	026,4	026,5	00,1	253,3	253,3	00,2
Cap-aux-Oies	027,0	029,0	02,0	219,2	220,1	00,9
St-Siméon	024,7	026,0	01,3	215,8	213,2	-2,6
Tadoussac	024,0	024,0	00,0	205,0	207,0	02,0
Forestville	024,2	023,3	-0,9	200,7	204,3	03,6
Baie Comeau	022,2	022,5	00,3	199,0	201,3	02,3
b) CÔTE SUD						
St-Jean-Port-Joli	025,7	027,0	01,3	244,1	241,2	-2,9
Rivière-du-Loup	023,2	024,0	00,8	208,3	211,3	03,0
Pointe-au-Père	024,1	023,1	-1,0	204,1	205,8	01,7
Matane	022,0	022,3	00,3	203,0	204,1	01,1
Les Méchins	021,1	021,0	-0,1	202,7	202,8	00,1

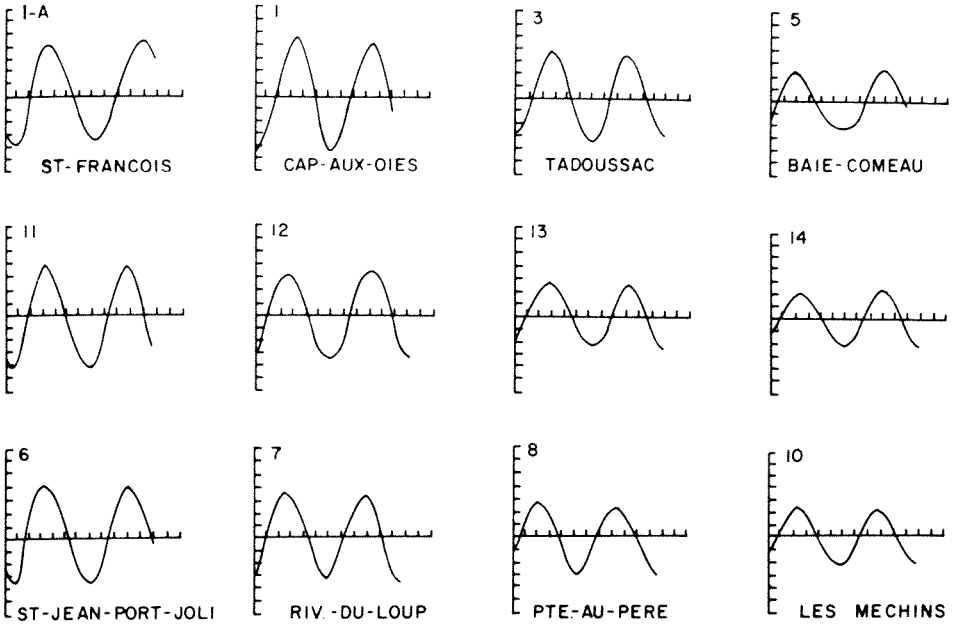
* Fuseau horaire de Temps Standard de l'Est.

pour la période du 15-18 octobre 1975. On constate que la composante de marée M_2 fait varier le niveau de l'eau de façon sinusoïdale en fonction du temps. L'amplitude d'environ 250 cm en amont de l'Estuaire sur la côte nord diminue d'une part jusqu'à 200 cm si on se dirige vers la côte sud (Saint-Jean-Port-Joli) et diminue également graduellement jusqu'à 100 cm si on se déplace de Saint-François vers Les Méchins. Globalement, sur toute la surface étudiée, l'amplitude augmente si on se dirige de la côte sud vers la côte nord. La période pour sa part coïncide avec celle qui a effectivement été mesurée pour M_2 , à savoir 12,42 heures. Pour l'ensemble des cinq composantes de marée (fig. 5), on note que les plus faibles amplitudes se trouvent dans la partie sud-est de l'Estuaire et s'intensifient si on se dirige vers l'ouest ou vers le nord. De 100 cm qu'elles sont à Les Méchins, elles atteignent 280 cm à certains moments à la station Cap-

aux-Oies. Selon nos calculs, c'est dans la partie nord-ouest de l'Estuaire que l'on voit les plus grandes différences entre la marée haute et la marée basse. Cette différence s'accroît si on passe de janvier à avril, à juillet pour demeurer sensiblement constante le reste de l'été et durant l'automne. En effet, à la station de Cap-aux-Oies, près de l'île-aux-Coudres, les plus grandes différences de niveau entre la marée haute et la marée basse ont été observées en octobre. Ces résultats donnent une bonne correspondance avec des observations de marégraphes installés à chaque station (fig. 5). Une comparaison des résultats de ce modèle avec celui de Lévesque (1977) montre que le fait d'avoir ajouté le vent, la pression atmosphérique et le frottement quadratique a eu pour effet d'augmenter l'amplitude de 25 à 50 cm en amont de l'Estuaire sur la côte sud et approche les résultats aux mesures directes de marégraphes installés à terre.

Niveaux d'eau pour la composante M_2

ECHELLE VERT. 50 CM/DIV. , HORIZ. 2 HRES / DIV.

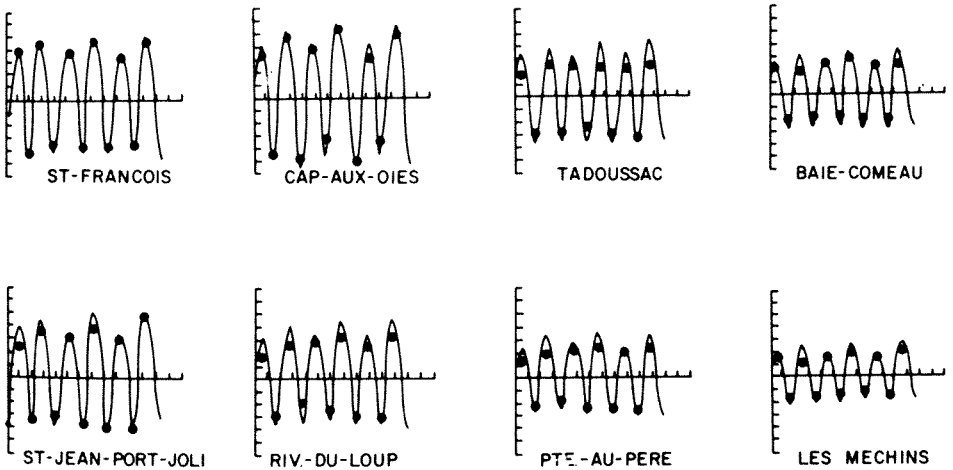


15-18 / 10 / 75

Figure 4. Niveaux d'eau calculés pour la composante M_2 à diverses stations dans l'Estuaire du Saint-Laurent.

Variation du niveau d'eau dans l'Estuaire du St-Laurent

ECHELLE VERT. 50 CM/DIV. , HORIZ. 6 HRES / DIV.



15-18 / 10 / 75

• Observé

— Calculé

Figure 5. Variation du niveau d'eau (observations et calculs) à diverses stations dans l'Estuaire du Saint-Laurent.

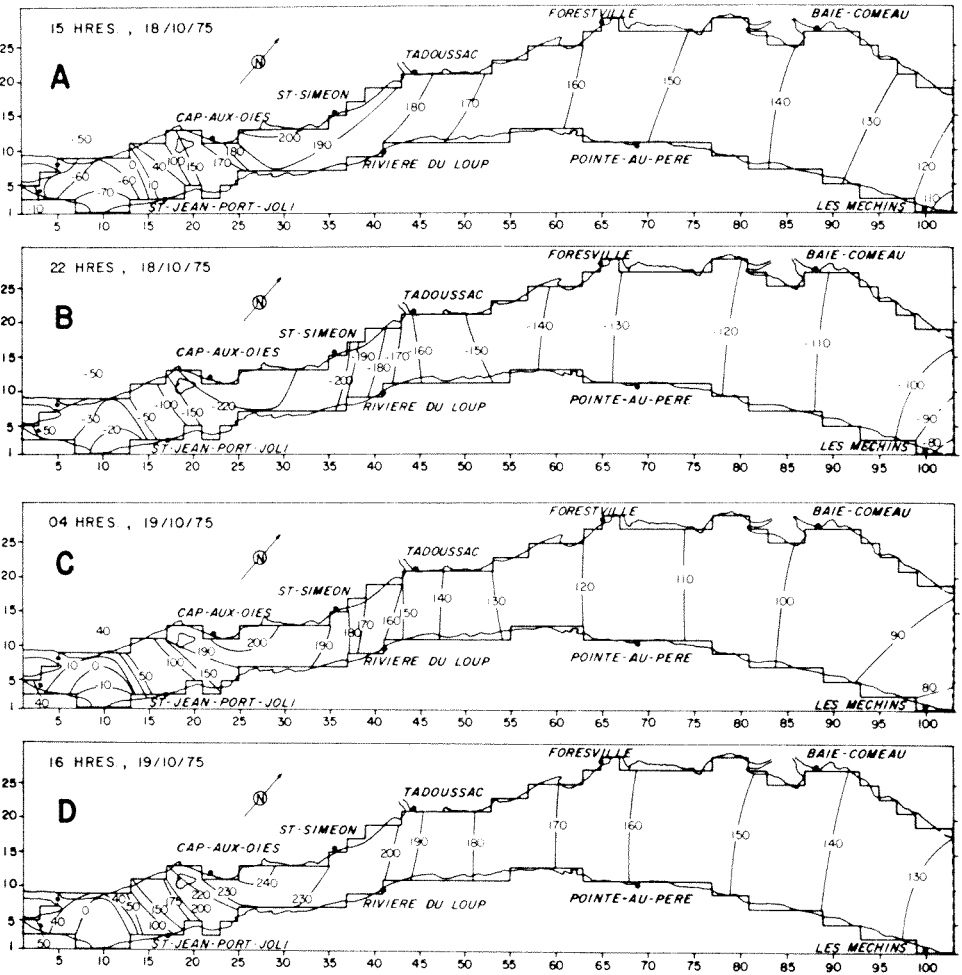


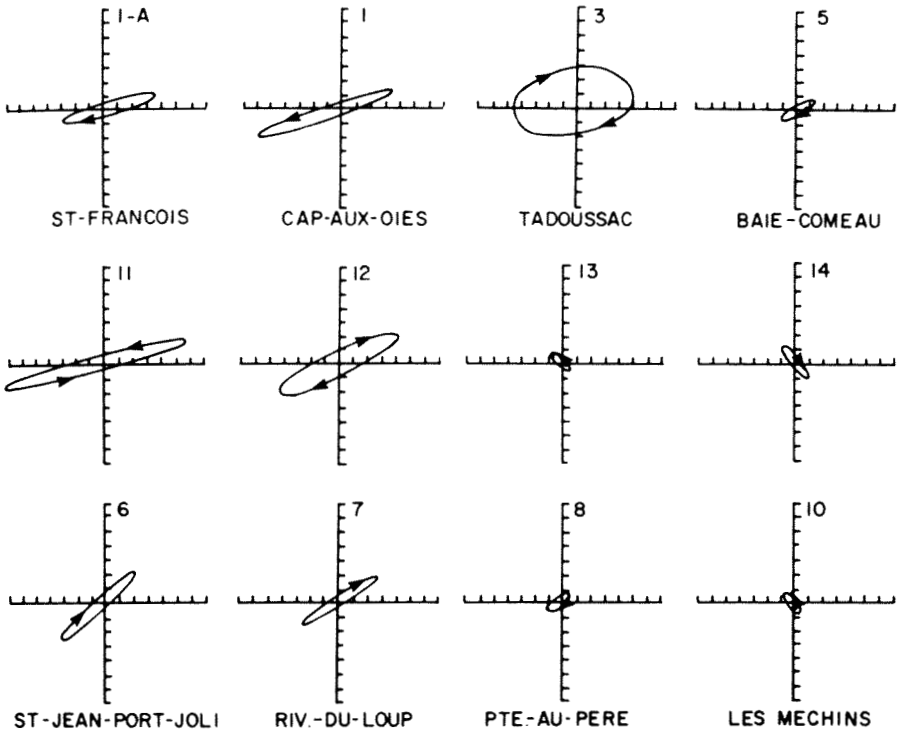
Figure 6. Contour des niveaux d'eau du 18 au 19 octobre 1975.

La figure 6 indique les contours de niveaux d'eau pour le mois d'octobre 1975 à différentes heures. De Les Méchins à Tadoussac, les résultats sont sensiblement identiques à ceux obtenus auparavant par Lèvesque (1977), à savoir que la marée est généralement plus haute sur la côte nord de quelques centimètres, résultats qui sont conformes aux mesures, si on tient compte de la force de Coriolis dans l'hémisphère nord et la topographie de l'Estuaire. Entre Tadoussac et l'île d'Orléans, on observe un refoulement du côté nord au niveau de Cap-aux-Oies ce qui provoque les grandes oscillations que nous observons en comparant les graphiques de chacune des heures que nous avons choisies pour cette station. Fait à noter, les oscillations à Cap-aux-Oies et celles à Saint-François sont parfois en phase,

parfois diphasés. La topographie du chenal lorsqu'on s'approche de l'île d'Orléans fait en sorte que l'onde de marée a une très grande amplitude entre Saint-François et Cap-aux-Oies (fig. 5). Les variations dans la pente entre la côte nord et la côte sud en fonction du temps sont causées par l'interaction entre la force de Coriolis et la direction de propagation de l'onde de marée. Globalement, de l'examen des graphiques, on déduit que les variations du niveau de l'eau, d'abord lentes à Les Méchins deviennent de plus en plus rapides vers l'amont et surtout à partir du Saguenay où la largeur et la profondeur diminuent rapidement. On déduit aussi que les masses d'eau sont projetées du côté nord au niveau de Cap-aux-Oies et qu'une grande partie de l'énergie contenue dans l'onde de marée est dissipée

Courants elliptiques pour M_2

ECHELLE VERT. 25 CM / DIV , HORIZ. 2 HRES. / DIV.



15 / 10 / 75

Figure 7. Courants elliptiques pour la composante M_2 .

par des oscillations se produisant entre Saint-François et Cap-aux-Oies.

MOUVEMENTS HORIZONTAUX (COURANTS DE MARÉE)

Nous étudions les mouvements horizontaux à l'aide des ellipses de courants de marée pour chacune des composantes dont nous avons tenu compte dans le modèle. Pour couvrir l'Estuaire, nous avons utilisé les douze (12) stations employées pour les niveaux d'eau.

Les stations 11-14 sont situées tout au centre de l'Estuaire. Les ellipses de marée s'obtiennent en réunissant l'extrémité de chaque vecteur. Celles-ci sont obtenues en calculant la résultante du flux dans les directions longitudinales et latérales que le modèle calcule pour chaque point de la grille à des intervalles d'environ 1 heure.

La figure 7 nous montre les ellipses de courants de marée induites par la composante M_2 . Le sens des flèches indique le sens de rotation des vecteurs pour une station donnée. Les graphiques sont tracés à partir d'une échelle de 25 cm/s par division. Pour la plupart des stations, on constate que le mouvement principal s'effectue dans le même sens que l'Estuaire à peu de chose près. L'intensité des vecteurs diminue si on se déplace de Cap-aux-Oies vers Baie-Comeau d'une part ou vers Saint-Jean-Port-Joli. Ainsi, les ellipses possédant le grand axe le plus faible sont situées dans la région sud-est de l'Estuaire. Globalement on peut dire que la composante de M_2 induit des courants de marée dans la direction de l'Estuaire de l'ordre de 100 cm/s sur la côte nord, entre le Saguenay et l'Île-aux-Coudres. Cette valeur diminue dans les environs de 50 cm/s sur la côte sud, pour cette même

portion de l'Estuaire. À part la région du Saguenay où la composante transversale est de l'ordre de 70 cm/s, le reste de l'Estuaire est soumis à des courants de marée longitudinaux de l'ordre de 25 cm/s.

Pour les ellipses de courants de marée induites par les composantes S_2 , N_2 , K_1 et O_1 , le comportement est identique à M_2 quant à l'orientation du vecteur principal, la diminution de l'intensité de celui-ci de Cap-aux-Oies vers Baie-Comeau et la faible intensité des courants transversaux sur l'ensemble sauf au niveau du Saguenay. Il existe quelques différences, pour une station donnée, dans l'intensité des courants se rattachant à chacune des composantes. Une comparaison des résultats avec ceux de travaux antérieurs (Forrester, 1972) à partir des observations de marégraphes installés à terre donne une bonne correspondance de vitesse et d'orientation de l'axe principal.

Les figures 8-10 montrent les vecteurs représentant la direction et la vitesse des courants de marée à marée haute, descendante, basse et montante pour le 15 octobre 1975. Soulignons que la direction et l'intensité des courants que l'on décrit ici utilisent la marée haute à Pointe-au-Père comme niveau de référence. La surface de l'Estuaire a été divisée en trois sections: Québec - Saint-Siméon, Saint-Siméon - Pointe-au-Père et finalement Pointe-au-Père - Les Méchins. Ceci afin de nous permettre de garder une échelle raisonnable et ainsi de faciliter la lecture des vecteurs. De ces résultats on déduit que les courants de marée sont est-ouest à marée haute. De plus l'intensité de ceux-ci augmente en direction de Québec et d'une façon plus significative en amont du Saguenay. À marée haute, nous calculons un courant de l'ordre de 4 cm/s dans le centre de l'Estuaire en face de Matane; le courant s'intensifie légèrement en amont pour prendre une valeur de l'ordre de 15 cm/s en face de Pointe-au-Père, de 80 cm/s en face de Rivière-du-Loup, de 125 cm/s au niveau de Cap-aux-Oies. Celui-ci diminue considérablement vers Québec; par exemple on calcule 25 cm/s juste en amont de l'île-aux-Coudres et 40 cm/s en aval de l'île d'Orléans. En général, le modèle correspond bien qualitativement aux observations de travaux antérieurs effectuées par le Service hydrographique canadien (Canada, 1939). Cependant les grandes distorsions dans l'intensité et la direction des courants de marée que nous calculons sur la côte sud entre Matane et Les Méchins nous laissent croire que nous

sommes très loin de la réalité pour cette région. Nous obtenons cette distorsion parce que le modèle considère la radiale Les Méchins - Pointe-des-Monts comme une région où il ne peut assurer une continuité entre deux grilles successives. C'est pourquoi nous avons couvert l'Estuaire avec une seule grille afin d'éviter des privilèges de couplage et d'assurer la continuité.

Conclusion

Le modèle numérique bi-dimensionnel traité dans ce document se veut un outil pour étudier la propagation des ondes de marée dans l'Estuaire du Saint-Laurent délimité en amont par l'île d'Orléans et en aval par la radiale Les Méchins - Pointe-des-Monts.

Les résultats nous indiquent que l'amplitude de l'onde de marée M_2 est plus grande sur la côte nord et s'intensifie en amont et que le vent qui s'est manifesté au mois d'octobre 1975 a eu pour effet de faire augmenter légèrement l'amplitude sur la côte sud. Les ellipses de marée pour M_2 ont un axe principal qui s'oriente sensiblement dans le sens de l'Estuaire. Le grand axe s'intensifie vers l'amont et encore davantage lorsqu'on ajoute l'effet du vent. Sous l'effet des cinq composantes, on constate que le vent a tendance à repousser l'eau sur la côte sud. Les comparaisons entre les mesures et les calculs indiquent que les résultats du modèle sont assez près de la réalité.

Les contours des niveaux d'eau nous indiquent un refoulement de la masse d'eau sur la côte nord tout près de l'île-aux-Coudres et l'analyse de ces lignes dans le temps nous laisse voir une oscillation des masses d'eau entre l'île d'Orléans et l'île-aux-Coudres. Finalement des lignes de cophase et de coamplitude, on déduit que les longueurs de l'onde de marée diminuent en pénétrant dans l'Estuaire et de façon plus importante au niveau du Saguenay et ce phénomène se traduit par une augmentation considérable de la vitesse des courants de marée.

En somme, ce modèle bi-dimensionnel génère pour l'Estuaire du Saint-Laurent et ce, en conformité avec les mesures expérimentales, les mouvements verticaux et horizontaux des masses d'eau, en tenant compte de l'influence des cinq (5) principales composantes de marée, à savoir M_2 , S_2 , N_2 , K_1 et O_1 , de la topographie, de la profondeur, de la force de Coriolis, du frottement sur le

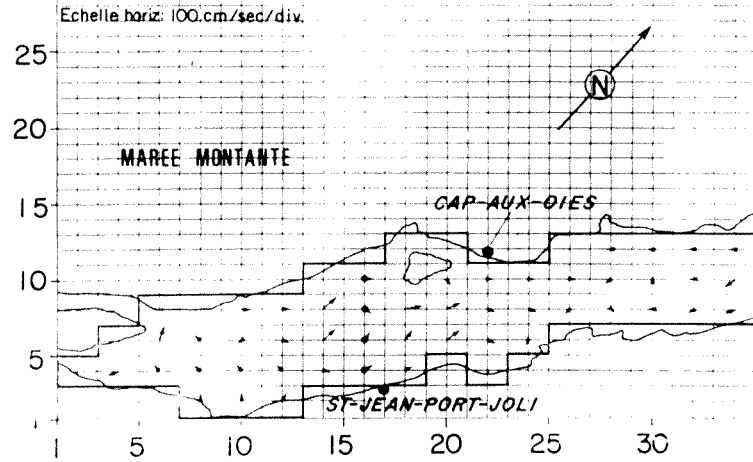
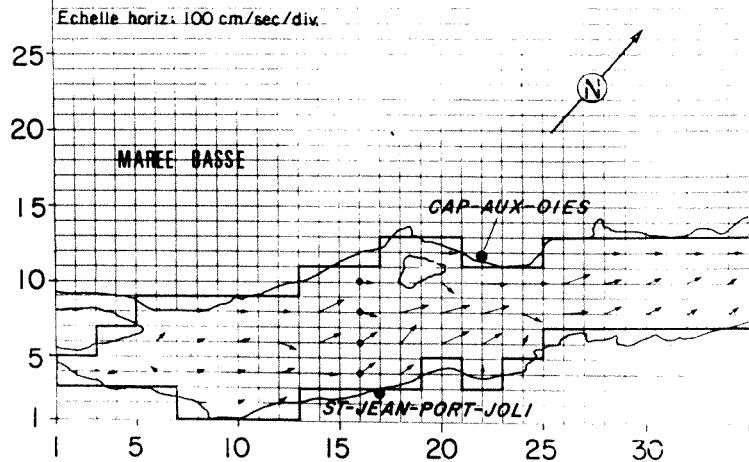
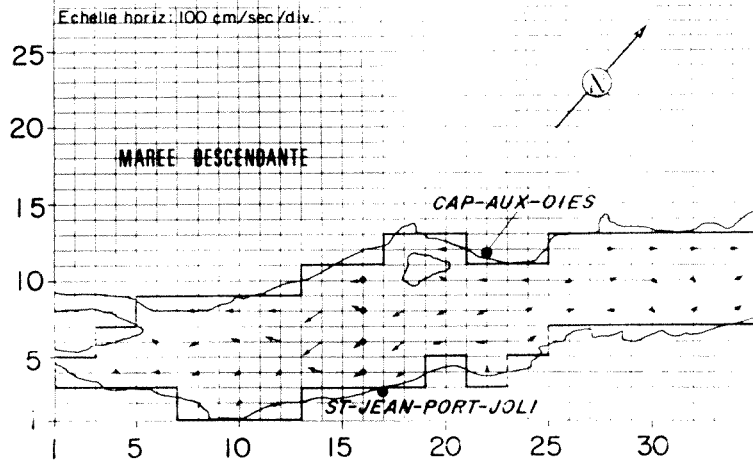
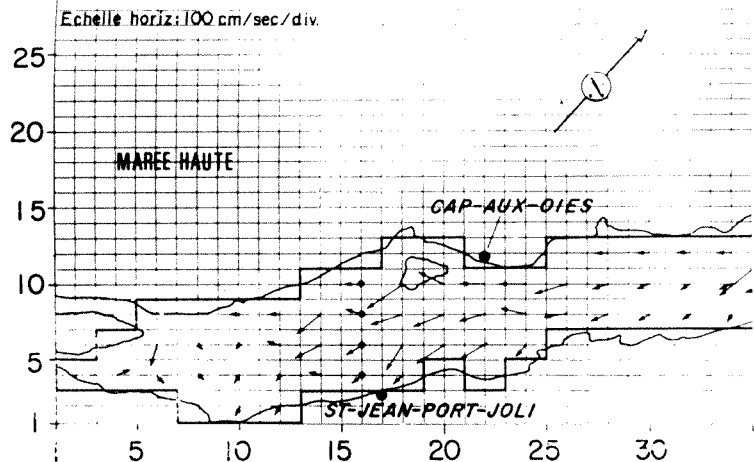


Figure 8. Courants de marée dans l'estuaire du Saint-Laurent - région Québec - St-Siméon.

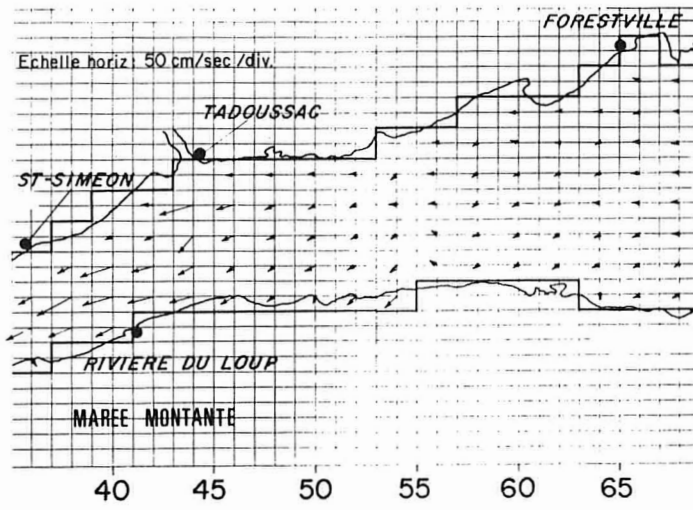
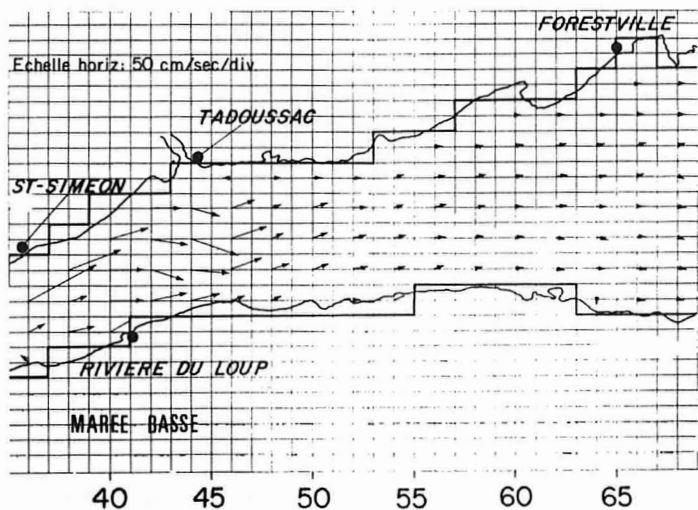
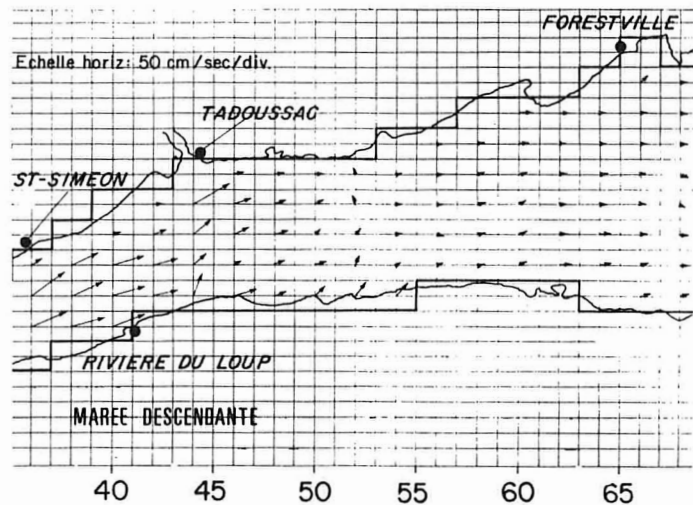
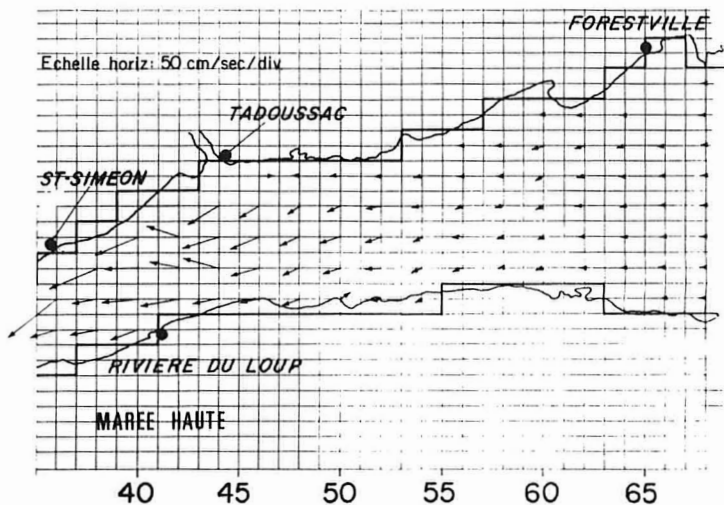


Figure 9. Courants de marée dans l'estuaire du Saint-Laurent – région St-Siméon – Forestville.

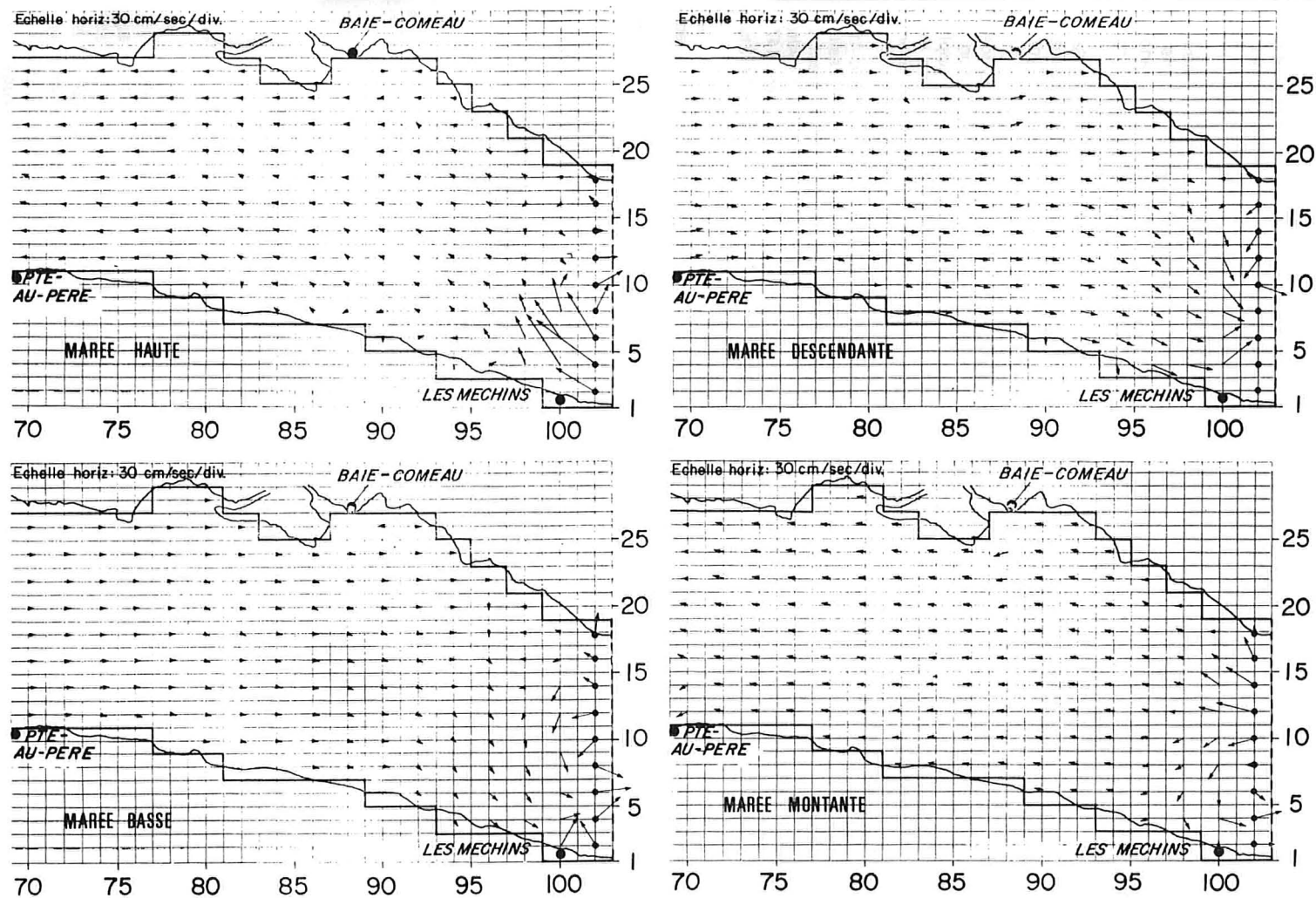


Figure 10. Courants de marée dans l'estuaire du Saint-Laurent – région Pointe-au-Père – les Méchins.

fond, du gradient de pression atmosphérique, du vent et de la marée indépendante.

Remerciements

Nous voudrions remercier les Drs Gabriel Godin, W. D. Forrester et D. A. Greenberg de Pêche et Environnement Canada pour leurs précieux conseils et critiques qui nous permirent de mener à bien cette étude. Notre reconnaissance s'adresse également au corps professoral et au personnel technique du Service des données sur le milieu marin à Ottawa, en particulier Messieurs John Taylor et André Bolduc, pour l'accueil qu'ils nous ont réservé et les facilités qu'ils nous ont toujours accordées. Nous tenons à exprimer également notre gratitude à M. Réal Fournier pour les graphiques et à Mesdames Jocelyne Marmen et Francine Paquet pour avoir dactylographié ce travail.

Cette étude a été subventionnée par le Ministère de l'éducation du Québec (subvention d'équipe FCAC) et par une subvention personnelle no. 3786 du Conseil national de la recherche Canada, attribuée à M. I. El-Sabh.

Références

- CANADA, 1939. Tidal current charts, St. Lawrence and Saguenay Rivers. — *Can. Hydrogr. Serv.*, 55 p.
- FORRESTER, W. D., 1972. Tidal transports and streams in the St. Lawrence Estuary. — *Int. Hydrogr. Rev.*, 48(1): 95-108.
- FREEMAN, N. G. and T. S. MURTY, 1976. Numerical model of cooscillating tide in Hudson Bay. — *J. Fish. Res. Bd Canada*, 33(10): 2345-2376.
- HAMBLIN, P. F., 1976. A theory of short period tides in a rotating basin. — *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, Vol. 281: 97-111.
- HARRIS, D. L. and C. P. JELESNIANSKI, 1964. Some problems involved in numerical solutions

- of tidal hydraulics equations. — *Mon. Weath. Rev.*, 92(9): 409-422.
- KAMPHUIS, J. W., 1968. Mathematical model study of the propagation of tides in the St. Lawrence River and Estuary. — *Nat. Res. Coun. Rep., DME, MH 105*, Ottawa.
- LÉVESQUE, L., 1977. Étude du modèle mathématique de la propagation de la marée dans l'Estuaire du Saint-Laurent. Section d'Océanographie, Université du Québec à Rimouski. — *Cahier d'Information*, N° 2, 160 p.
- LÉVESQUE, L., T. S. MURTY and M. I. EL-SABH, 1979. Numerical modeling of tidal propagation in the St. Lawrence Estuary. — *Int. Hydrogr. Rev.*, 56 (2): (in press).
- QUELLET, Y. and J.-F. CHEYLUS, 1971. Étude du modèle mathématique de la propagation des marées dans le fleuve Saint-Laurent; application du modèle mathématique et étude de la région de l'île d'Orléans. CENTREAU, Université Laval. — *Rapp. CRE-71-05*, 37 p.
- PARTENSCKY, H. W. and L. LOUCHARD, 1967. Étude sur la variation cyclique de la salinité moyenne dans l'Estuaire du Saint-Laurent. Un. de Montréal, École Polytech. Div. d'Hydraulique. — *Rapp. Con. Nat. Rech.*, Ottawa, 147 p.
- PARTENSCKY, H. W. and C. MARCHE, 1974. Étude de la déformation progressive de l'onde de marée dans l'Estuaire du Saint-Laurent. — *Rapport de la section hydraulique*, Université de Montréal, 70 p.
- PARTENSCKY, H. W., and J. C. WARMOES, 1970. Étude des marées dans l'Estuaire du Saint-Laurent à l'aide d'un modèle mathématique linéarisé. — *Rapport soumis au Con. Nat. de Rech. du Can.*, 677 p.
- PRANDLE, D. and N. L. CROOKSHANK, 1974. Numerical model of the St. Lawrence Estuary. — *J. Hydraul. Div. ASCE*, Vol. 100 (HY). Proc. Paper, (10472): 517-529.
- VINCENT, R., 1965. An investigation of the tidal characteristics of the St. Lawrence Estuary by a Mathematical Model. — *M. Sc. Thesis*, Université Laval, 119 p.

LA MARÉE DANS LE GOLFE ET L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

Gabriel GODIN

*Service des données sur le milieu marin,
Ministère des pêches et de l'environnement,
240, rue Sparks, Ottawa, Ont.*

Résumé

On peut se faire une idée de l'allure générale du phénomène de la marée dans le système du Saint-Laurent en inspectant le niveau d'eau enregistré entre Port-aux-Basques et Montréal durant quelques jours: on note ainsi la distorsion de l'onde de marée alors qu'elle se propage en amont. L'étude d'un mois d'enregistrement indique en plus que les battements de vive-eau et de morte-eau sont reflétés en amont par une oscillation du niveau d'une période de quinze jours. Les données observées durant une année, 1975 dans notre cas, sont ensuite utilisées pour établir des statistiques sur les marnages, sur la hauteur de la haute et basse mer et sur les intervalles entre le transit lunaire et l'arrivée de la haute ou basse mer. Les valeurs établies donnent les moyennes et les limites extrêmes de ces variables partout dans l'estuaire. On note par après que les constantes de la composante harmonique principale, M_2 , fournissent une bonne approximation aux valeurs moyennes du marnage et des intervalles, entre Sainte-Anne-des-Monts et l'île d'Orléans. Comme on doit se servir de la représentation harmonique pour la prédiction des marées, nous donnons des cartes cotidales pour les ondes principales M_2 et K_1 ; ces cartes, en conjonction avec celles d'ondes secondaires mentionnées dans le texte, suffisent pour établir des prédictions adéquates en n'importe quel point en aval de l'île d'Orléans.

Abstract

One may obtain an idea of the transformation of the tide in the Saint Lawrence system by inspecting a few days of the observed water level between Port-aux-Basques and Montréal: one can then notice its distortion as it travels upstream. The inspection of a month of recordings indicates also that the beats of spring and neap tides are reflected upstream by an oscillation of the water level which has a period of fifteen days. One year of observations, 1975 in our case, is then utilized in order to establish statistics on the range, the height of high and low water and the time intervals between the lunar transit and the occurrence of high or low water. In this way we obtain mean values and limits for the extremes of these variables throughout the estuary. We note afterwards that the amplitude and phase of the major harmonic constituent M_2 give a good estimates of the mean value of the ranges and of the lunitidal intervals between Ste-Anne-des-Monts and the Island of Orleans. Since we must use a harmonic representation in order to predict tides, we show cotidal charts for the major harmonic constituents M_2 and K_1 ; these charts, in conjunction with those of secondary waves mentioned in the text, are sufficient to make adequate prediction at any point downstream of the Island of Orleans.

Introduction

Nous appelons «système du Saint-Laurent» l'étendue d'eau qui est délimitée par les détroits de Belle-Isle, Cabot et Canso et l'écluse de Saint-Lambert, à Montréal. Ce système inclut donc les eaux qui baignent l'île du Prince Édouard, les côtes est et nord du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, la côte ouest de Terre-Neuve et,

naturellement, l'entièreté du fleuve Saint-Laurent jusqu'à Montréal. Nous voulons décrire les marées que l'on rencontre dans ce domaine et en particulier, celles qui prévalent dans l'estuaire.

On obtient des renseignements sur la marée en installant un marégraphe en un point donné et en enregistrant le niveau d'eau observé durant un intervalle assez prolongé

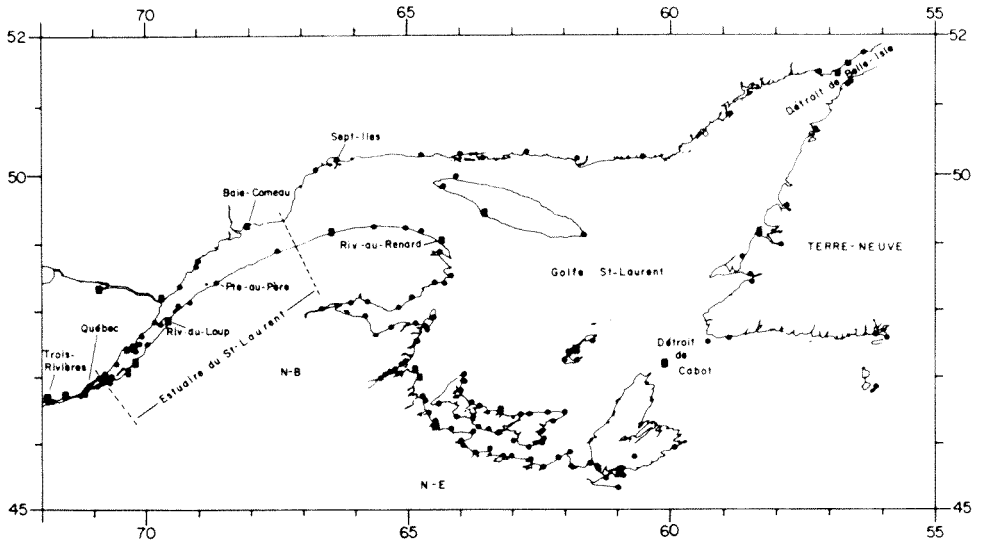


Figure 1. Endroits pour lesquels on possède des observations sur les variations du niveau d'eau dans le système du Saint-Laurent. Un point indique que l'on possède moins que 350 jours d'observations à ce site alors qu'un carré indique l'inverse.

(de l'ordre d'un an). Il est maintenant possible d'installer des marégraphes n'importe où dans un bassin, mais des mesures en haute mer n'ont pas encore été faites dans le système du Saint-Laurent, à l'exception du détroit de Cabot. La figure 1 montre l'emplacement des sites pour lesquels nous possédons des enregistrements de marée. L'ensemble des données de niveau d'eau recueillies constitue un corps assez vaste d'information et on ne peut vraiment l'apprécier que si on le soumet à l'analyse mathématique. Toutefois avant de s'aventurer dans cette analyse, nous allons inspecter quelques enregistrements afin d'obtenir une idée de l'allure générale du phénomène observé.

La marée le long de l'estuaire

Nous montrons dans la figure 2 la variation de niveau d'eau observée à divers points de l'estuaire entre le 30 septembre et le 3 octobre 1976. Le tracé 1 montre le niveau d'eau à Port-aux-Basques qui, étant situé dans le détroit de Cabot, mesure essentiellement la source principale d'excitation de marée dans tout le système du Saint-Laurent. Les tracés 2 à 16 sont les niveaux observés à divers endroits s'échelonnant en amont de l'estuaire; ceux-ci sont identifiés dans la

figure 2. Nous notons que la marée à Port-aux-Basques (tracé 1) et à Sainte-Anne-des-Monts (tracé 2) sont en opposition de phase; il s'écoule un intervalle de six heures entre l'occurrence de la haute mer aux deux endroits. D'autre part, les profils de niveau présentent un bon synchronisme en amont de Sainte-Anne. Nous pouvons visualiser l'ensemble des tracés 2 à 9 (Portneuf) comme la progression d'une onde libre injectée à l'entrée de l'estuaire. Il y a amplification du signal entre Rivière-du-Loup (4) et Portneuf. À Bastiscan (10), l'onde a dépassé l'engorgement de l'île d'Orléans et de Québec et commence à s'amortir et elle devient tout juste perceptible à Trois-Rivières (tracé 14). Le diagramme indique que pour l'intervalle considéré, la marée n'est pas perceptible à Sorel (tracé 15) et à Montréal (tracé 16). Le profil de l'onde a commencé à se déformer à Rivière-du-Loup (tracé 4); le gradient entre la basse mer et la haute mer devient plus abrupt que le gradient entre haute et basse mer. De plus, l'intervalle entre la basse et haute mer devient de plus en plus court alors que c'est l'inverse entre la haute et basse mer. Donc l'allure de sinuséide de la courbe du niveau d'eau dans le bas estuaire est remplacée par un profil de dents de scie en amont. Ce changement dans le profil de l'onde implique que les vitesses de la

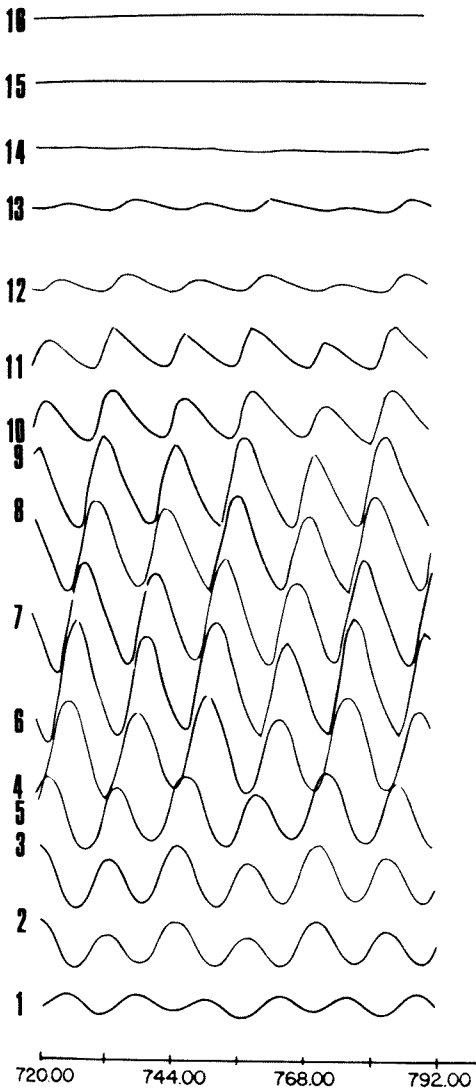


Figure 2. Niveaux d'eau observés entre le 30 septembre et le 3 octobre 1976 en divers points de l'estuaire; nous avons aussi inclus celui observé à Port-aux-Basques. L'échelle horizontale de temps en heures est commune; la variation dans la verticale est sur une échelle commune mais nous ne donnons pas la valeur absolue de ces niveaux.

Code pour les sites:

- (1) Port-aux-Basques; (2) Sainte-Anne-des-Monts;
- (3) Pointe-au-Père; (4) Rivière-du-Loup; (5) Saint-Jean-Port-Joli; (6) Saint-François; (7) Québec;
- (8) Neuville; (9) Portneuf; (10) Grondines;
- (11) Cap-à-la-Roche; (12) Batiscan; (13) Champlain; (14) Trois-Rivières; (15) Sorel; (16) Montréal.

haute mer et de la basse mer différent dans leur progrès vers l'amont, la basse mer voyant plus lentement.

Nous avons montré dans la figure 2 un épisode de morte-eau; si nous avons illustré à la même échelle un épisode de vive-eau, les courbes de niveau se seraient enchevêtrées à cause des amplitudes plus fortes. Mais, ce qui est plus intéressant, nous aurions remarqué de furtives oscillations de marée à Sorel (tracé 15) et une hausse (presque imperceptible) du niveau d'eau à Montréal (tracé 16). En effet, l'effet de la marée ne se limite pas exclusivement à des modifications diurnes et semi-diurnes du niveau d'eau. La fluctuation entre les intervalles de vive et morte-eau induit une oscillation lente du niveau d'eau en amont de tout fleuve animé de marées. Nous illustrons ce phénomène à l'aide de la figure 3. Ici nous avons comprimé fortement l'échelle de temps afin de montrer un mois d'observation aux sites 1, 2, 7, 11, 12, 14 et 16 de la figure 2 durant le mois de septembre 1976; nous voulons suivre tout au plus l'allure générale du profil du niveau d'eau. Celui-ci a une allure océanique typique à Port-aux-Basques et à Sainte-Anne-des-Monts, passant de vive-eau à morte-eau et oscillant autour d'un niveau moyen qui se situe à mi-chemin entre la haute et basse mer. À Québec, le profil est fortement altéré: la hauteur de la basse mer oscille fort peu alors que la haute mer varie de la même façon qu'à Port-aux-Basques ou Sainte-Anne-des-Monts de telle sorte que le niveau moyen est surélevé par rapport à la distance entre la haute mer et la basse mer. De plus, les basses mers, par rapport à Sainte-Anne, sont rabaisées durant les marées de morte-eau et vice versa durant les marées de vive-eau. Cette tendance est encore plus fortement accentuée à Grondines où nous voyons que le niveau moyen est abaissé durant les épisodes de morte-eau et surélevé durant les épisodes de vive-eau. Cette tendance devient extrême à Trois-Rivières où cette variation domine de beaucoup la variation due à la marée semi-diurne et diurne. Nous voyons finalement qu'à Montréal où nous avons fortement exagéré l'échelle verticale, la variation mensuelle du niveau d'eau directement attribuable à la variation du signal de la marée est encore visible (malgré qu'elle peut être masquée par des variations de débit, comme au début du mois) alors que la marée elle-même a complètement disparu. L'ordre de grandeur de cette oscillation de quinze jours à Montréal est de l'ordre de 10 cm; celle-ci est donc minime du point de vue pratique mais très intéressante du point de vue théorique.

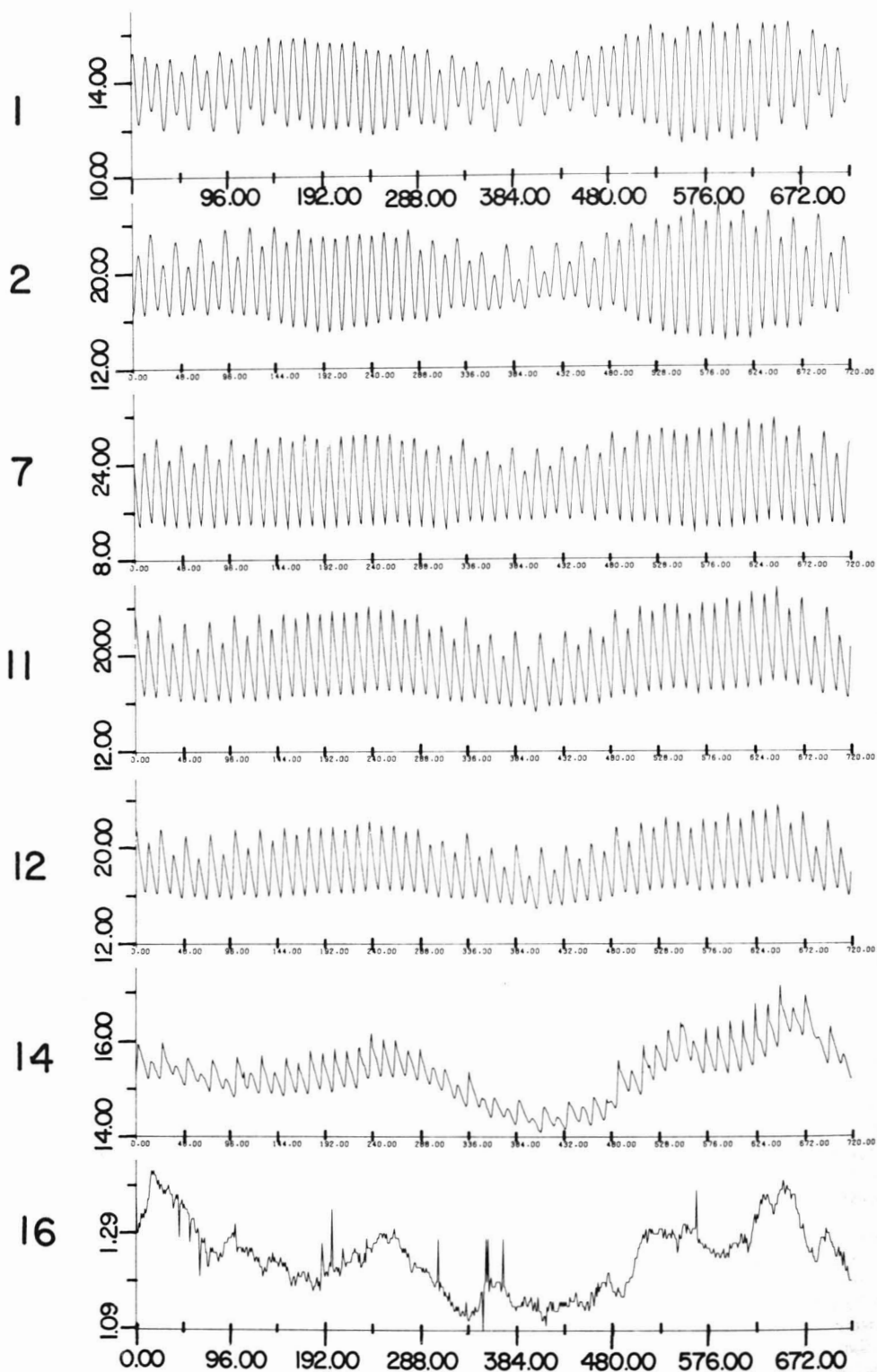


Figure 3. Une suite d'enregistrement du niveau d'eau à différents endroits du système du Saint-Laurent durant le mois de septembre 1976. Le code pour les sites est le même que dans la figure 2. L'échelle de temps en heures est commune. Ce graphique démontre la formation d'une oscillation de quinze jours dans le haut Saint-Laurent due à la transition de morte-eau à vive-eau dans le golfe.

Intervalles et marnages

Il nous faut maintenant dépasser la considération de cas particuliers et progresser vers une description plus générale de la marée dans l'estuaire. Une année d'observation en un site donné suffit en général pour obtenir une bonne idée de la marée qui existe à ce point et nous allons nous servir de observations recueillies dans l'estuaire durant 1975 pour en déduire les caractéristiques générales dans cette partie du système du Saint-Laurent.

On aimerait connaître en particulier: a) la différence de niveau entre la haute et basse mer (marnage); b) l'intervalle de temps entre le passage de la lune, soit au zénith soit au nadir, et l'arrivée de la haute mer ou de la basse mer en un point donné, ainsi que la vitesse des crêtes de haute mer et des creux de basse mer le long de l'estuaire; c) la hauteur de ces hautes et basses mers par rapport au niveau moyen. Le tableau I énumère les stations dont nous nous sommes servis pour calculer ces quantités. Nous n'avons pas dépassé Trois-Rivières car la marée en deçà de ce point est presque imperceptible.

Les quantités que nous recherchons varient appréciablement d'un cycle à l'autre; nous les représenterons donc par leur valeur moyenne, leur écart type, les valeurs extrêmes observées et les valeurs extrêmes impliquées par leur distribution (que l'on suppose normale).

La figure 4 donne les résultats de nos calculs sur les marnages observés dans l'estuaire durant l'année 1975 sur une échelle commune de distance. Les distances de Pointe-des-Monts en amont sont celles que j'ai utilisées pour un modèle mathématique

TABLEAU I

Liste des stations marégraphiques permanentes dans l'estuaire du Saint-Laurent

<i>Haut estuaire</i>	<i>Rive nord</i>	<i>Rive sud</i>
Saint-François	Sept-Îles	Rivière-au-Renard
Lauzon (Québec)	Baie-Comeau	Ste-Anne-des-Monts
Neuville	Tadoussac	Pointe-au-Père
Portneuf	St-Joseph-de-la-Rive	Rivière-du-Loup
Grondines		Saint-Jean-Port-Joli
Cap-à-la-Roche		
Batiscan		
Champlain		
Trois-Rivières		

de l'estuaire (Godin, 1971) alors que les distances de Pointe-des-Monts à Sept-Îles sont mesurées le long d'une courbe placée à mi-chemin entre les deux rives. Nous avons dû séparer les marnages de la côte nord de ceux de la côte sud car ceux-ci sont appréciablement plus faibles. Ces derniers augmentent jusqu'à l'est de l'île d'Orléans alors que les marnages de la côte nord atteignent leur maximum dans les environs de l'île-aux-Coudres. Nous avons doublé l'échelle verticale à partir de Saint-François afin de suivre de plus près la variation du marnage en amont de l'île d'Orléans.

La figure 5 montre l'intervalle en heures entre le transit lunaire (supérieur ou inférieur) au-dessus du méridien de Greenwich et l'arrivée de la haute mer en un point donné. Nous pouvons également utiliser ce diagramme pour évaluer le temps que prend la haute mer pour se propager d'un point à un autre. Cette figure est divisée en trois parties afin d'éviter la confusion; nous avons dû aussi établir une distinction entre l'intervalle moyen pour la haute mer supérieure et la haute mer inférieure à partir de Portneuf car la haute mer supérieure semble se propager plus vite que la haute mer inférieure. Nous n'avons pas fait toutefois la même distinction pour les extrêmes. Le diagramme indique que la haute mer se propage assez rapidement jusqu'au Saguenay (faible gradient de la courbe des moyennes). Par après, elle se propage moins rapidement mais à une vitesse à peu près constante jusqu'à Cap-à-la-Roche. Sa vitesse est fortement ralentie à partir de ce point.

La figure 6 donne l'intervalle entre le transit lunaire et l'arrivée de la basse mer. Il est nécessaire de montrer ce diagramme en sus de celui de la pleine mer à cause du déphasage entre ces deux quantités. La basse mer prend en moyenne 12,5 heures pour se propager de Rivière-au-Renard à Trois-Rivières alors que la haute mer ne prend guère plus que 9 heures en moyenne pour parcourir le même trajet. La distance entre Saint-Joseph-de-la-Rive et Cap-à-la-Roche étant de quelques 180 kilomètres, la vitesse de la haute mer entre les deux points est d'environ 38 km/heure alors que la basse mer se propage à 24 km/heure. C'est pourquoi qu'à Trois-Rivières la haute mer a presque rejoint la basse mer qui la précède. Nous avons dû encore une fois faire une distinction entre la basse mer supérieure et la basse mer inférieure à partir de Portneuf. Cette fois-ci nous sommes confrontés avec

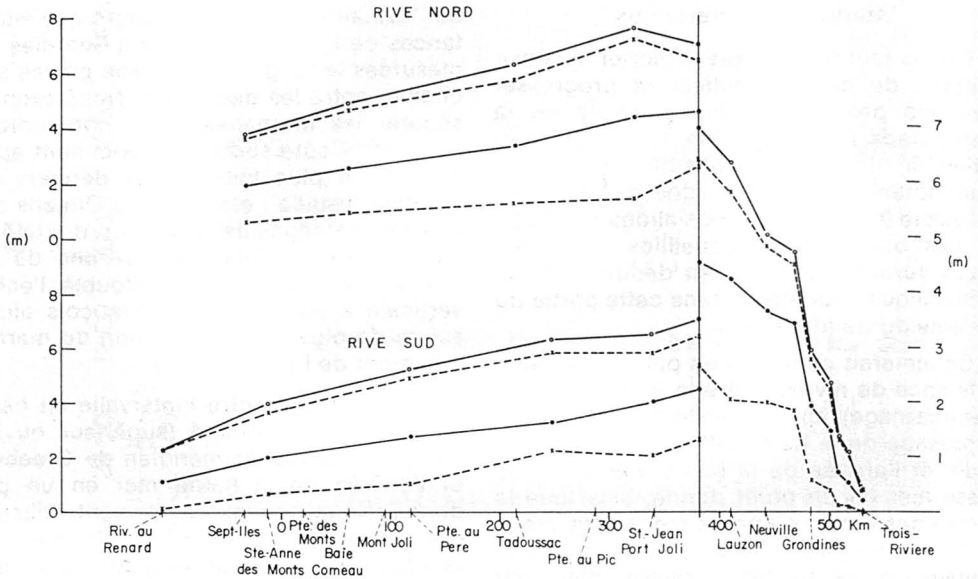


Figure 4. Marnage dans l'estuaire du Saint-Laurent durant l'année 1975. L'échelle de distance est commune pour les trois portions du diagramme. Nous avons fait une distinction entre les marnages sur les rives nord et sud, bien qu'ils soient représentés sur une même échelle verticale; d'autre part, l'échelle verticale a été doublée à partir de Saint-François. La courbe inférieure reliée par des points est la valeur moyenne mesurée. Les deux courbes en tirets relient les valeurs extrêmes observées. La courbe pleine supérieure forme l'enveloppe de la moyenne plus trois écarts types.

le paradoxe que la basse mer supérieure se propage moins vite que la basse mer inférieure.

Nous montrons dans la figure 7 l'élévation de la haute mer et de la basse mer par rapport au niveau moyen. En aval de Pointe-au-Père, le niveau moyen est basé sur le plan de référence géodétique canadien (GD) qui a été établi en 1910. En amont de Pointe-au-Père, le niveau moyen est basé sur le Repère International des Grands Lacs (IGLD) qui a été fixé à partir d'observations à Pointe-au-Père entre 1941 et 1956. Nous donnons dans le diagramme les hauteurs moyennes de la haute et basse mer, les extrêmes supérieurs de la haute mer et les extrêmes inférieurs de la basse mer. Nous notons que trois écarts types ne peuvent pas contenir les valeurs extrêmes. Dans le cas du bas estuaire, les limites supérieures et inférieures sont dépassées. Ceci est dû au fait que les tempêtes peuvent déplacer le niveau de la mer soit vers des valeurs surélevées, soit sous-abaissées. D'autre part, en amont de l'île d'Orléans, ce n'est que la limite supérieure qui est systématiquement dépassée par les

observations. Ceci est dû aux crues printanières qui surelèvent le niveau durant un temps assez court; il s'ensuit que la probabilité d'observer des basses mer inférieures aux limites à trois écarts types est presque négligeable que ce n'est pas le cas pour les hautes mers. Ce type de probabilité est favorable à la sécurité de la navigation.

L'ensemble des figures 4, 5, 6 et 7 donne une idée générale des marées que l'on trouve dans l'estuaire du Saint-Laurent, entre Rivière-au-Renard et Trois-Rivières. Nous pouvons en déduire les marnages moyens et extrêmes, la hauteur de la haute et basse mer, le temps d'arrivée de la haute ou basse mer après le passage de la lune, etc... pour tous les endroits qui se trouvent entre ces deux stations. Toutefois ces paramètres descriptifs ne suffisent pas complètement pour spécifier quelle sera la marée en un endroit donné en un temps donné; tout ce qu'ils peuvent suppléer sont des limites de variations, des moyennes et des probabilités. Pour progresser, il nous faut maintenant nous tourner vers l'analyse harmonique.

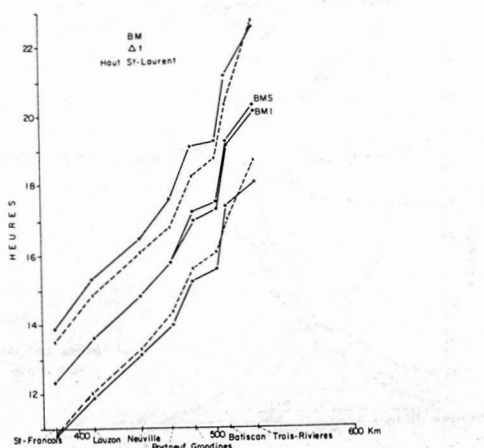
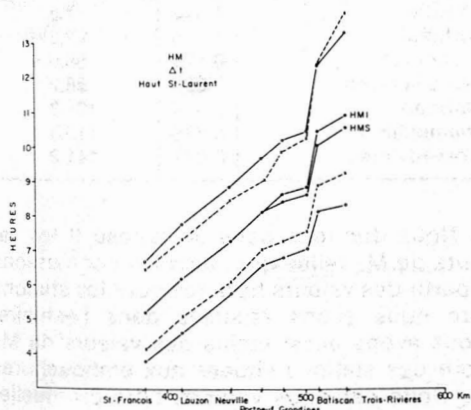
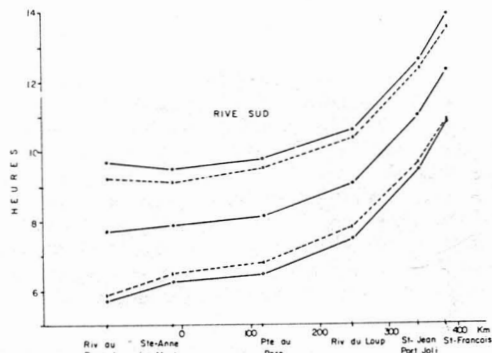
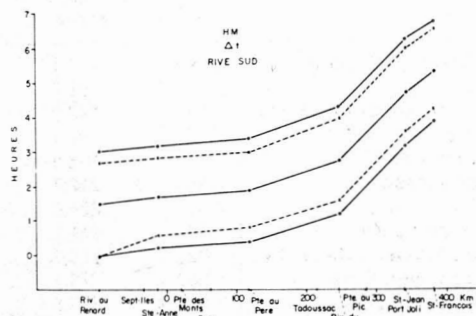
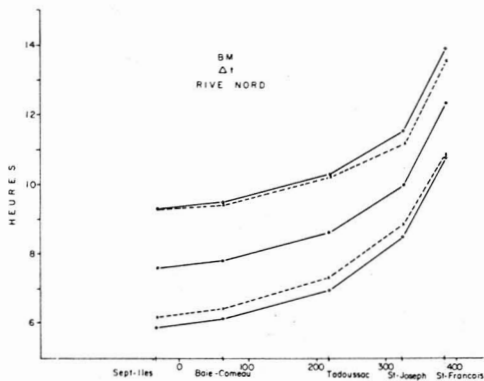
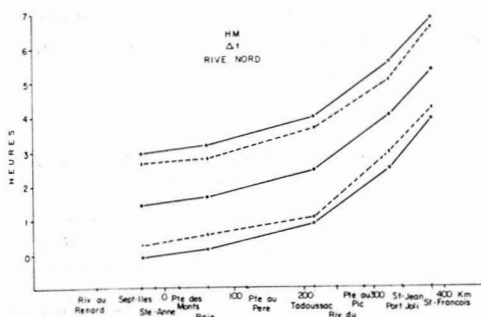


Figure 5. Intervalle entre le passage de la lune à Greenwich et l'arrivée de la haute mer (mesurée dans le fuseau horaire de l'est) dans l'estuaire du Saint-Laurent. Les points ont le même sens que dans la figure 4, à l'exception que nous avons aussi indiqué l'enveloppe inférieure ($x - 3s$). Nous avons dû faire une distinction entre les valeurs moyennes pour les intervalles des hautes mers supérieures et inférieures à partir de Portneuf (on doit faire cette distinction à cause de l'influence de la marée diurne).

Figure 6. Intervalle entre le passage de la lune à Greenwich et l'arrivée de la basse mer (mesurée dans le fuseau horaire de l'est) dans l'estuaire du Saint-Laurent. La basse mer progresse plus lentement que la haute mer.

La structure harmonique de la marée

L'analyse harmonique s'applique non pas aux hautes et basses mers, mais aux valeurs horaires du niveau d'eau observé et extrait

des ondes élémentaires dont la superposition forme la marée. Il y a un très grand nombre de ces ondes élémentaires mais on tend souvent à concentrer son attention d'abord sur l'onde lunaire M_2 qui est la

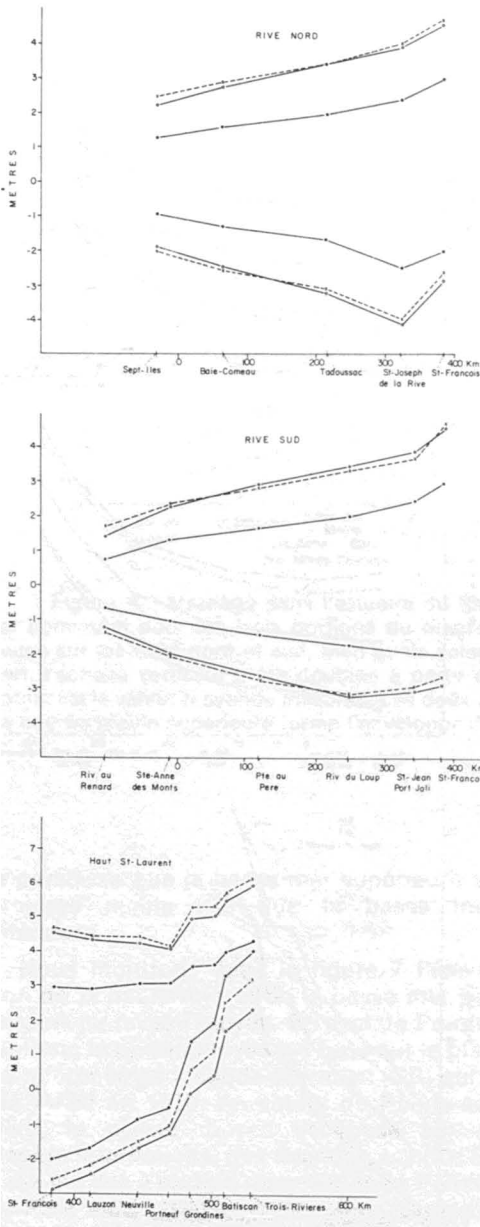


Figure 7. Hauteur de la haute mer et de la basse mer observée en 1975. Nous ne donnons que les enveloppes supérieures de la haute mer et les enveloppes inférieures de la basse mer.

plus importante du groupe. Lorsqu'elle domine dans les ondes analysées, ce qui arrive lorsque la marée étudiée a un caractère franchement semi-diurne, elle délimite l'allure générale de celle-ci. Tel est le cas pour l'estuaire du Saint-Laurent. Si l'on connaît M_2 , on peut déduire le mariage moyen et

l'intervalle moyen entre le passage de la lune au méridien et l'occurrence de la haute ou basse mer.

TABLEAU II
Constantes de l'onde lunaire M_2 dans l'estuaire du Saint-Laurent

Station	Ampl. H	Situation de Greenwich g
	m	Fuseau horaire de Greenwich degrés
Rivière-au-Renard	0,498	187,1
Sept-Îles	0,914	181,7
Sainte-Anne-des-Monts	0,931	192,9
Baie-Comeau	1,185	192,1
Pointe-au-Père	1,266	198,5
Tadoussac	1,554	212,7
Rivière-du-Loup	1,508	224,8
Pointe-au-Pic	1,804	241,2
Saint-Joseph-de-la-Rive	2,022	255,5
Saint-Jean-Port-Joli	1,867	279,1
Saint-François	2,049	302,6
Québec	1,826	328,9
Neuville	1,542	7,8
Portneuf	1,445	29,3
Grondines	0,772	59,0
Cap-à-la-Roche	0,635	68,2
Batiscan	0,308	101,8
Champlain	0,225	115,3
Trois-Rivières	0,071	141,2

Nous donnons dans le tableau II les valeurs de M_2 telles que nous les connaissons à partir des valeurs horaires pour les stations que nous avons étudiées dans l'estuaire. Nous avons aussi inclus des valeurs de M_2 pour des stations situées aux embouchures du Golfe car nous voulons faire éventuellement des estimés de l'énergie qui est suppléée par l'océan Atlantique au système du Saint-Laurent par l'intermédiaire des détroits de Belle-Isle et de Cabot (le détroit de Canso a été coupé du système en 1954).

M_2 étant une onde harmonique élémentaire, son effet sur le niveau d'eau s'exprime par une simple sinusoïde de la forme:

$$H \cos(\sigma t - g) \quad (1)$$

où H est l'amplitude (en pieds ou mètres) de la sinusoïde telle que nous l'avons définie et g est la situation (retard de phase) de Greenwich. On mesure cette situation à partir du passage de la lune au-dessus du méridien de Greenwich. σ est la fréquence de M_2 qui est une quantité fixe qui a la valeur de deux cycles par jour lunaire, soit $720^\circ/24,841202$ heures solaires ou $28,984104^\circ$ /heure solaire. Les quantités H et g sont caracté-

téristiques de l'endroit où la marée a été observée. t est la variable temps.

Nous vérifions maintenant le fait que l'amplitude de M_2 donne une très bonne idée du marnage partout où la marée est semi-diurne et où la distorsion due au frottement n'est pas prépondérante; de même le g de M_2 , traduit en heures, donne un bon estimé de la valeur moyenne du délai entre le passage de la lune à Greenwich et l'arrivée de la haute mer. Nous montrons dans la figure 8 le quotient entre le marnage moyen observé dans l'estuaire (voir la figure 4) et la double amplitude de M_2 , soit $2H$. Dans la partie inférieure de la même figure, nous faisons la comparaison entre le délai moyen observé entre le passage de la lune et l'arrivée de la haute mer et la situation g de M_2 , exprimée en heures. Nous voyons que M_2 reflète très adéquatement les valeurs moyennes du marnage et des intervalles jusqu'à l'île d'Orléans; la distorsion due au frottement commence à fausser cet accord au-delà de celle-ci. Nous pouvons donc conclure qu'en aval de l'île d'Orléans, nous pouvons représenter très adéquatement le marnage moyen par l'expression :

$$\text{Marnage moyen} \approx 1,08 \times 2H_{M_2} \quad (2)$$

alors que l'intervalle moyen entre le passage de la lune à Greenwich et l'arrivée de la haute mer est donné par

$$T_{\text{moyen}} \approx g \text{ en heures solaires} \quad (3)$$

De même l'intervalle moyen entre le transit lunaire et la basse mer s'obtient en ajoutant 180° au g de M_2 , soit 6,21 heures solaires. Les formules (2) et (3) sont valables entre l'entrée de l'estuaire et l'île d'Orléans.

Nous délaissions maintenant l'aspect phénoménologique des marées dans l'estuaire et nous abordons leur représentation harmonique. Celle-ci a la forme :

$$z(t) = Z_0(t) + \sum_{n=1}^N A_n \cos(\sigma_n t - a_n) \quad (4)$$

$z(t)$ est le niveau d'eau observé à l'instant t $Z_0(t)$ est la contribution de facteurs autre que la marée et la sommation de sinusoides représente la contribution de la marée. L'amplitude A et le retard de phase a peuvent être exprimés éventuellement en termes de constantes telles que H et g utilisées pour M_2 ; celle-ci fait partie de la sommation indiquée dans la formule (4). σ_n est la fréquence des ondes individuelles. H et g sont caractéristiques de la marée en un endroit donné;

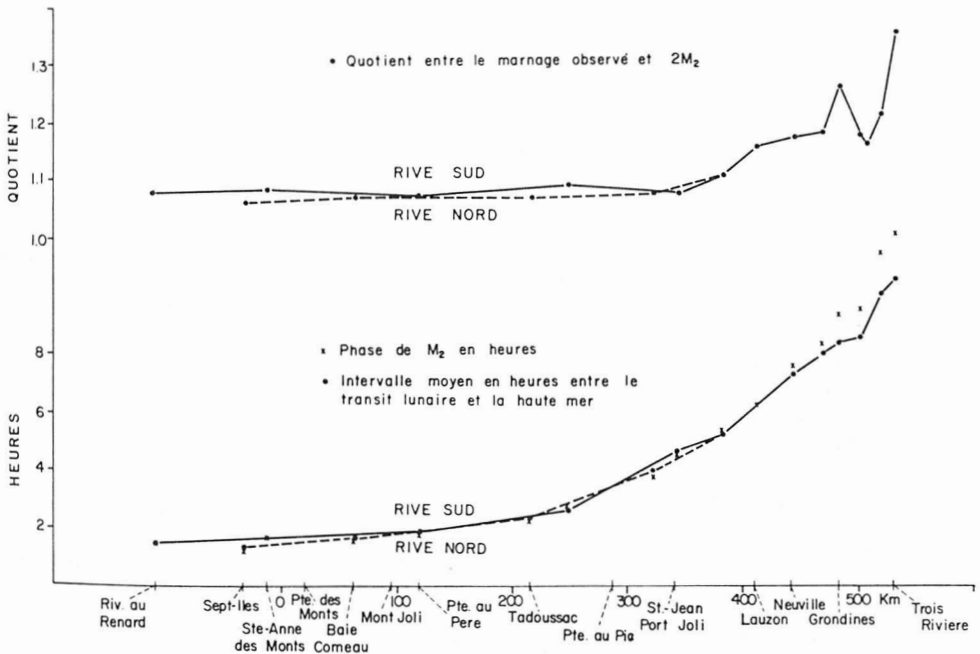


Figure 8. Quotient entre le marnage moyen observé en 1975 et la double amplitude de l'onde lunaire M_2 (panneau supérieur). Les points reliés par une ligne continue sont sur la côte nord alors que les points reliés par une ligne discontinue sont sur la côte sud. Intervalle moyen entre le passage de la lune à Greenwich et l'occurrence de la haute mer observé dans l'estuaire du Saint-Laurent en 1975 et la situation de Greenwich en heures (dans le fuseau de l'est) de M_2 (indiqué par un x) aux sites indiqués (panneau inférieur).

la fréquence σ_n est connue et elle est donnée par l'astronomie.

Une année d'observations peut nous aider à décortiquer le paquet d'ondes représenté par la sommation à 95-97% de certitude. Les facteurs contribuant à $Z_0(t)$ ne sont pas périodiques en général; on doit donc prolonger les observations indéfiniment si on veut connaître cette quantité.

Les harmoniques dans l'expression (4) peuvent être sous-divisées en groupes:

- le groupe de basses fréquences qui couvrent les fréquences qui s'étendent de 1 cycle/26000 ans à 1 cycle/15 jours;
- le groupe diurne dont toutes les fréquences tombent près de 1 cycle/jour;
- le groupe semi-diurne dont les fréquences tombent près de 2 cycles/jour;
- le groupe de haute fréquence dont les fréquences s'étalent dans les environs de 3, 4, 5, 6 etc. cycles/jour.

Dans l'estuaire, ces ondes sont soit la contrepartie exacte d'harmoniques que l'on trouve dans l'océan Atlantique, soit des harmoniques créés par l'effet du frottement par l'interaction de la marée avec le débit d'eau fraîche. On ne peut pas, par une analyse conventionnelle, établir clairement l'origine des ondes détectées et on doit les traiter exclusivement comme des harmoniques sans chercher à reconnaître leur origine. Le groupe semi-diurne est le plus intense dans l'estuaire et en dedans de ce groupe, l'onde M_2 domine les autres ondes de ce groupe par un facteur d'au moins 3 à 1; de même elle domine l'onde diurne la plus forte par un facteur de 7 à 1. En rang d'importance, nous avons dans la sommation de l'expression (4), les ondes

$$M_2 S_2 N_2 K_1 O_1 \text{ et } K_2$$

qui dominent la marée dans l'estuaire; les indices 2 et 1 dénotent que l'onde appartient au groupe semi-diurne ou diurne. M_2 est due à l'action de la lune; M_2 reflète la distance variable de la lune au cours d'un mois. S_2 est l'équivalent solaire de M_2 . K_1 et O_1 dépendent de la déclinaison de la lune ou du soleil; ils ont tendance à avoir le même ordre de grandeur.

M_2 et S_2 ont des fréquences très voisines et leurs battements créent les marées de vive-eau et de morte-eau. La différence dans les phases de M_2 et S_2 à un endroit donné indique le nombre d'heures qui s'écoulera entre une conjonction ou une quadrature ou une marée de vive ou morte-eau. Par exemple la différence de phase entre S_2 et M_2

est de l'ordre de 35° dans tout l'estuaire jusqu'à l'île d'Orléans. Puisque la fréquence de S_2 est de 2 cycles/jour, le déphasage entre les deux ondes se fait au taux de 2 cycles/jour solaire - 2 cycles/jour lunaire = $1,02^\circ$ /heure. Dans le cas de l'estuaire les marées de vive ou de morte-eau se manifesteront donc environ 34 heures après une conjonction ou une quadrature. Par exemple, il y a eu une conjonction à 10 heures (GMT) le 12 janvier 1975; il s'ensuit que dans l'estuaire, nous devrions avoir des marées de vive-eau vers 22 heures le 13 janvier 1975. La haute mer et la basse mer qui prendront place aux environs de ce temps devraient donc être les plus fortes durant la semaine qui les précède ou qui les suit. Si l'on consulte la table de prédiction de marée pour Pointe-au-Père durant l'année '75 [les tables de marées donnent la valeur instantanée de la sommation de sinusoides dans l'expression (4)], on voit que tel est le cas. Une haute mer de 4,2 mètres est prédite pour 14h55 le 13 janvier et une basse mer de 0,5 m à 21h15; celles-ci sont des valeurs extrêmes qui ne seront dépassées qu'une semaine avant ou après. Si nous nous tournons vers les observations (qui sont affectées par des facteurs autre que la marée), nous voyons qu'une haute mer de 4,4 m prit place à 14h51 et une basse mer de 0,9 m, à 21h21 le 13 janvier 1975. La haute mer ne fut pas dépassée une semaine avant ou après alors que la basse mer fut dépassée à cause d'effets étrangers à la marée.

Les ondes diurnes K_1 et O_1 , qui n'ont qu'un maximum par jour plutôt que deux comme les ondes semi-diurnes, créent une distorsion dans la hauteur de la haute ou basse mer, que l'on peut noter dans les figures 2 ou 3: dans deux hautes ou basses mers consécutives, une est surélevée par rapport à l'autre.

Le groupe des ondes de hautes fréquences acquiert une importance grandissante à mesure que l'on progresse vers l'amont de l'estuaire à cause de la distorsion accrue de l'onde de marée. Quant aux ondes de basses fréquences, leur étude est plus difficile. Les ondes dues directement à la marée dans cette bande sont faibles et ne peuvent pas être isolées adéquatement. Les variations du débit d'eau fraîche et les fluctuations du niveau moyen dominant et appartiennent vraiment au terme $Z_0(t)$. Comme ces fluctuations sont importantes en pratique, on a souvent tendance à les représenter par des ondes fictives qui correspondent aux ondes

de marée «Sa» (période d'un an), «Ssa» (période de 6 mois), «Mm» et «MSm» (période d'un mois), «Mf» et «MSf» (période de deux semaines). Cette convention harmonique de représenter ce type de fluctuations est malheureusement inadéquate.

Dans la figure 3, on voit que l'effet du frottement et du débit est sélectif : l'oscillation semi-diurne s'éteint plus rapidement que l'oscillation diurne à mesure que l'onde progresse en amont. Une oscillation de quinze jours, imperceptible à Saint-Anne-des-Monts, devient visible à Grondines et prépondérante à Trois-Rivières. Nous nous rendons compte que le signal injecté dans l'estuaire à Sainte-Anne-des-Monts qui consiste en un battement voit tout d'abord toutes ses basses mers rasées horizontalement à Québec. L'effet de vive et morte-eau se transforme en une oscillation de plus en plus prononcée du niveau moyen à partir de Grondines. Rendue à Montréal, la marée proprement dite a disparu, mais il reste une oscillation de quinze jours qui reflète la cadence des marées de vive et de morte-eau. Dans une analyse harmonique conventionnelle du niveau d'eau observé de Québec à Montréal, cette oscillation de quinze jours résulte dans une contribution nette à une harmonique d'une période de quinze jours. Du point de vue physique le haut estuaire se comporte comme un appareil rectificateur de la marée. Cet effet des fleuves sur les marées est universel et on peut rencontrer le même phénomène par exemple dans la rivière St-John au Nouveau-Brunswick. Celle-ci est stimulée par la marée de la baie de Fundy et si l'on remonte assez haut en amont, à Frédéricton par exemple, on ne trouve encore une fois qu'une oscillation assez marquée d'une période de quinze jours. En période de débâcle par conséquent, il y a donc plus de risque d'inondation durant une marée de vive-eau dans la baie de Fundy ou dans le golfe du Saint-Laurent, dans des endroits où la marée semble au premier aspect tout à fait éteinte.

Cette fluctuation de quinze jours dans le haut estuaire doit se traduire par des retenues considérables d'eau fraîche qui devraient se faire sentir dans les mesures océanographiques prises dans le bas estuaire ou dans le golfe.

Cartes cotidales des ondes M_2 et K_1

On peut synthétiser le résultat des analyses harmoniques en interpollant des lignes de

valeur constante de phase et d'amplitude d'une onde donnée sur tout le domaine étudié ; c'est ce qu'on appelle une carte cotidale. On restreint ce type de carte aux ondes principales M_2 et K_1 car celle des autres ondes ressemblent à l'une ou à l'autre. Nous montrons celles-ci dans les figures 9 et 10. Nous voyons que la carte pour K_1 est très simple ; il en serait de même pour M_2 si les dimensions du système du Saint-Laurent n'étaient pas si considérables. De toute évidence, sa longueur effective, telle que ressentie par l'onde semi-diurne dans l'océan Atlantique, dépasse un quart de longueur d'onde avec la conséquence qu'un nœud se trouve à l'intérieur du système. Il se situe juste à l'ouest des Îles-de-la-Madeleine et a sa contre-partie dans la sortie nord-ouest du détroit de Northumberland. La haute mer pénètre par le détroit de Cabot et tourne indéfiniment dans le golfe autour des Îles-de-la-Madeleine. La même chose se passe en miniature à la sortie ouest du détroit de Northumberland autour d'un point d'amphidromie qui, en l'absence de l'île du Prince-Édouard, aurait été relié par une ligne nodale au point qui se trouve à l'ouest des Îles-de-la-Madeleine. Tant qu'à la situation dans l'estuaire, elle diffère assez peu de ce qu'elle aurait été en l'absence de rotation : il y a opposition de phase avec le détroit de Cabot et l'onde prend un caractère progressif en deçà du Saguenay.

La carte de K_1 reflète la plus grande longueur d'onde de celle-ci. Son nœud se trouve à l'extérieur du golfe et se trouve quelque part entre l'île du Cap-Breton et l'île-aux-Sables ; elle pénètre donc en oblique dans le détroit de Cabot et cause une progression de l'onde diurne du nord est au sud-ouest vers le plateau madalénois accompagnée d'une certaine amplification. Il y a quasi-simultanéité de l'oscillation diurne dans la partie nord du golfe et l'onde prend un caractère progressif dans l'estuaire à partir du Saguenay.

Les cartes cotidales de M_2 et K_1 permettent d'interpoler les valeurs de ces ondes en n'importe quel point du système. Nous n'avons pas montré les cartes pour S_2 , N_2 , K_2 et O_1 car elles seraient répétitives. D'autre part, leur usage, en conjonction des cartes de M_2 et K_1 , permet d'obtenir des estimés des ondes principales de la marée dans tous les points de l'estuaire. On peut se servir de ces estimés pour prédire la marée locale à n'importe quel instant qui semble d'intérêt et être sûr que la prédic-

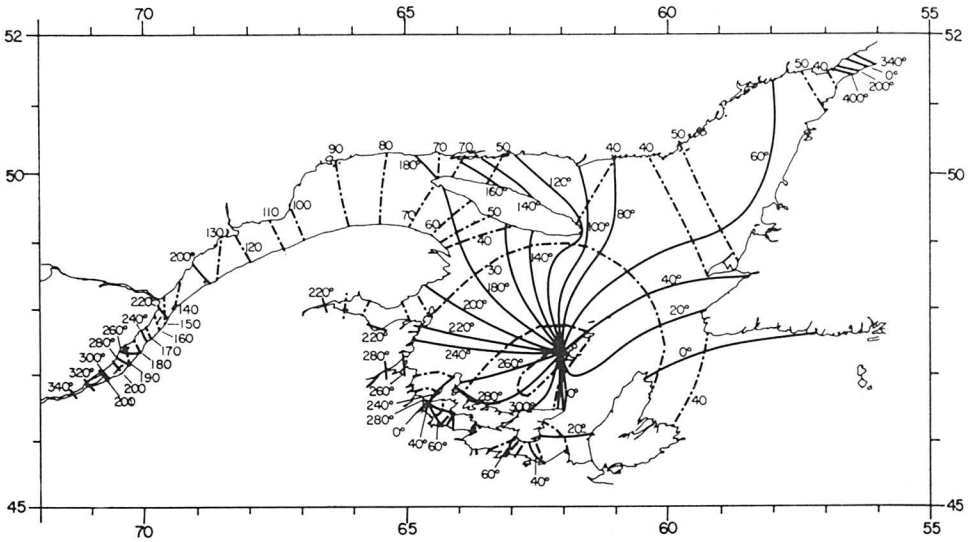


Figure 9. Carte cotidiale pour l'onde M_2 dans le système du Saint-Laurent. Les amplitudes (lignes pointillées) sont en centimètres; les situations de Greenwich sont en degrés et elles sont mesurées dans le fuseau horaire de Greenwich.

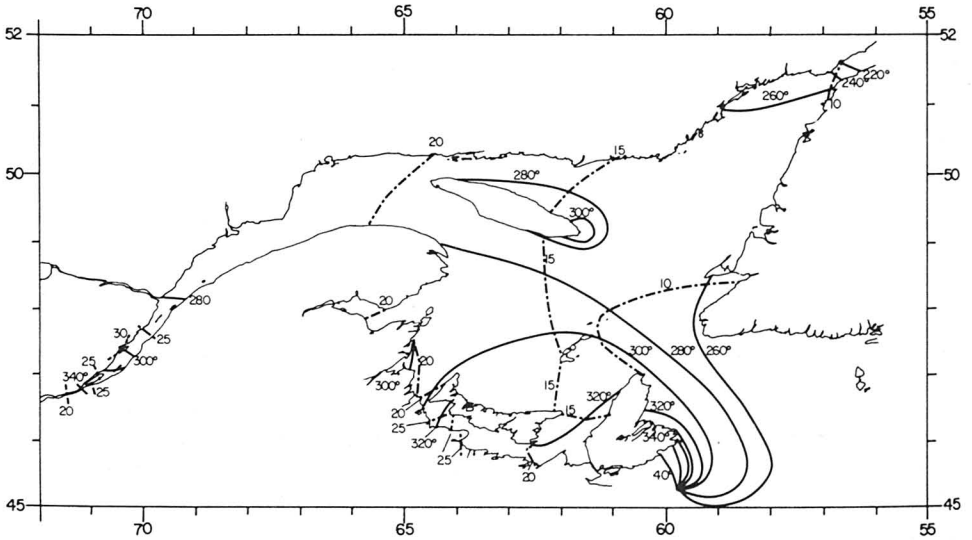


Figure 10. Carte cotidiale pour l'onde K_1 dans le système du Saint-Laurent.

tion représente adéquatement la marée locale présente.

Dans les points du système où la marée a un caractère semi-diurne, la carte de M_2 suffit pour estimer les marnages moyens et les intervalles des hautes et basses mers par rapport au passage de la lune.

Le caractère des marées dans le système du Saint-Laurent

Nous avons mentionné en plusieurs occasions que les marées dans l'estuaire ont un caractère nettement semi-diurne bien que nous ne nous sommes jamais attardés

pour expliquer ce que nous voulions dire par ceci. Intuitivement, on sait qu'une marée semi-diurne est caractérisée par deux hautes mers et deux basses mers chaque jour lunaire.

Il est traditionnel de classifier les marées à l'aide du paramètre $M_2 + S_2/K_1 + O_1$ où les symboles représentent ici l'amplitude de l'onde. Toutefois cette manière de classifier dépend seulement de quelques composantes dont les valeurs analysées peuvent être assez incertaines pour de courts enregistrements. Il est préférable et possible de se tourner vers l'enregistrement lui-même et extraire ses caractéristiques à l'aide de premières et deuxièmes différences, celles-ci étant prises à intervalles de 3 et 12 heures. Nous dénotons une première différence à k heure par D_k et une deuxième différence du même ordre par d_k , alors que nous désignons le deuxième moment par μ_2 . Avec ces paramètres et des marées étalons que nous avons définies à l'aide de ces paramètres dans une publication précédente (Godin, 1977), nous pouvons classifier tous les enregistrements de marée d'une façon consistante et continue. Les marées types sont : diurnes, mixtes, normales, semi-diurnes et tous les enregistrements observés doivent tomber dans une de ces catégories avec un paramètre de classification qui varie entre 0 et l'infinité. Le paramètre qui est un quotient des deuxièmes moments normalisés de la

marée étudiée et de la marée étalon, varie entre l'infinité et 1 pour un enregistrement diurne, de 1 à 0 pour un enregistrement mixte, entre l'infinité et 1 pour un enregistrement normal et entre 1 et 0 pour un enregistrement semi-diurne. La démarcation n'est pas absolue entre les catégories mixte (M) et normale (N), un enregistrement portant un indice $\sim OM$ est presque indistinguable d'un enregistrement d'indice $\gg 1N$, mais partout ailleurs il y a une progression continue entre toutes les catégories. Les catégories diurne et mixte sont caractérisées par le fait que dans leur cas $\mu_2(D_{12}) \geq \mu_2(d_3)$ alors que c'est l'inverse pour les catégories normale et semi-diurne. La catégorie diurne se distingue de la catégorie mixte par le fait que

$$\mu_2(D_{12}) \geq 2,673$$

pour la catégorie diurne et l'inverse pour la catégorie mixte. La catégorie semi-diurne se distingue de la catégorie normale par le fait que

$$\mu_2(D_{12}) \leq 0,184$$

alors que c'est l'inverse pour la catégorie normale. L'indice de la classification est obtenu en divisant le $\mu_2(D_{12})$ par le $\mu_2(D_{12})$ critère. Tous les seconds moments mentionnés ont été normalisés en divisant par $\mu_2(D_3)$.

Nous avons appliqué ces critères aux enregistrements recueillis dans le système

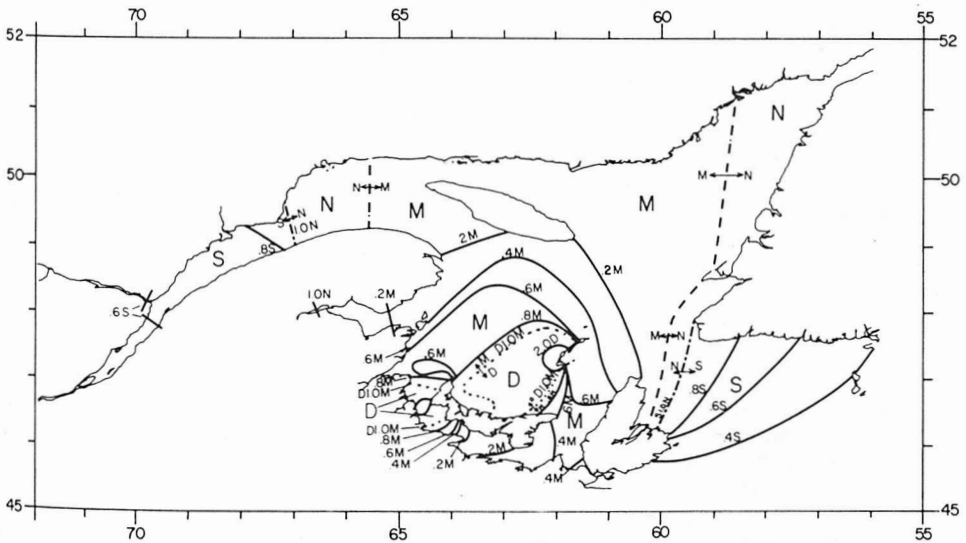


Figure 11. Carte groupant les divers types de marée observés dans le système du Saint-Laurent. Chaque type est dénoté par un indice numérique et une lettre : D = diurne, indice ≥ 1 ; M = mixte, indice ≤ 1 ; N = normal, indice ≥ 1 ; S = semi-diurne, indice ≤ 1 . Cette classification des types est basée sur les observations horaires du niveau d'eau.

du Saint-Laurent et le résultat de nos calculs a été mis en graphique dans la figure 11. À cause de la présence d'un point d'amphidromie semi-diurne sur le plateau madalénois et dans le détroit de Northumberland, on rencontre une grande variété de types de marée dans cette région alors que la situation est plus simple dans la portion nord du système. Une ligne épaisse sépare les types semi-diurne et normal ainsi que les types mixte et diurne car il y a une transition très nette entre ces types. Une ligne brisée sépare les types mixte et normal car leur zone de transition n'est pas absolument nette. Les lignes indiquées sont des lignes d'index constant pour la catégorie donnée: la ligne 1 sépare deux catégories. On peut remarquer que la catégorie «normale» dans laquelle l'ordre de grandeur des ondes composantes se rapproche de celui que l'on trouve dans le potentiel générateur de la marée semble le moins répandue. Nous notons aussi que tous les enregistrements dans l'estuaire tombent dans la catégorie «semi-diurne» comme nous l'avons mentionné plusieurs fois auparavant.

Toutefois la notation «mixte» ou «normale» ne veut pas dire que la marée devient subitement mixte en passant de la catégorie diurne à mixte, ou normale, en passant de la catégorie semi-diurne à normale; il y a une transition insensible entre tous les types rencontrés dans la nature. Par exemple une marée de type 9M se rapproche de très près du type diurne alors qu'une marée de type 1M se rapproche de très près du type semi-diurne. Nous avons mentionné précédemment que nous pouvions nous servir de l'onde M_2 pour déduire les caractéristiques moyennes d'une marée du type semi-diurne. En fait, en termes de la classification que nous venons d'établir, l'onde M_2 peut servir à cet usage pour tous les enregistrements qui appartiennent à la catégorie 2M en descendant à 0M, à la catégorie N et à toute la catégorie S car, dans tous ces types, on a deux hautes mers et deux basses mers par jour lunaire.

La classification que nous venons de présenter n'est vraiment efficace que pour les enregistrements de caractère purement océanique où la distorsion due aux petits fonds n'est pas prépondérante. Par exemple, la classification donne les indices 0,470S pour Québec et 0,509S pour Saint-Jean-Port-Joli, ce qui veut dire qu'ils doivent se ressembler de très près. Une inspection de leurs enregistrements indique qu'en fait ils se res-

semblent fortement dans leur profil de haute mer mais que leur profil de basse mer diffère considérablement à cause de la distorsion à Québec. Si nous voulons prendre en compte la distorsion due aux petits fonds, nous devons introduire une mesure additionnelle basée sur la mesure de μ_2 (d_3). Celle-ci excède 0,252 dans toute marée affectée par cet effet; nous évaluons donc le quotient

$$\mu_2(d_3)/0,252 = R$$

pour les enregistrements dans le haut estuaire en sachant que la distorsion devient importante lorsque $R > 1$. Dans le cas de Québec et Mont-Joli, la classification complète donne:

<i>Indice général de distorsion</i>		
Québec	0,470S	1,179
Saint-Jean-Port-Joli	0,509S	1,006

Nous montrons dans la figure 12, l'indice de distorsion tel que mesuré dans l'estuaire.

L'énergie de la marée

Nous avons décrit la marée dans le système du Saint-Laurent, inspecté sa structure spectrale et utilisé un système simple pour classifier tous les enregistrements qu'on y a recueillis. Il nous reste maintenant à évaluer l'énergie présente dans la marée à certains points névralgiques du système, soit les points d'entrée du golfe et de l'estuaire. Ainsi nous pourrions établir des ordres de grandeur pour l'énergie moyenne qui prévaut dans certains points du système, due à la marée.

Dans le cas où une représentation harmonique est valable, il est plus commode de traiter de la puissance pour une onde composante donnée. Dans ce cas, la puissance associée avec une harmoniques donnée est (Schönfeld, 1956);

a) la puissance pulsative:

$$P_p = \frac{1}{2} \rho g h L H^2 (M \cos(g_c - g) - i \sin(g_c - g)) \quad (5)$$

b) la puissance alternative:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho g h L H^2 (M \sin(g_c - g) + i \cos(g_c - g)) \quad (6)$$

où

P = la puissance en kilowatts

ρ = la densité de l'eau de mer ($N1 \text{ tonne/m}^3$)

h = la profondeur de l'eau dans la section étudiée (mètres)

L = la largeur de la section (mètres)

H = l'amplitude de l'onde composante (mètres)

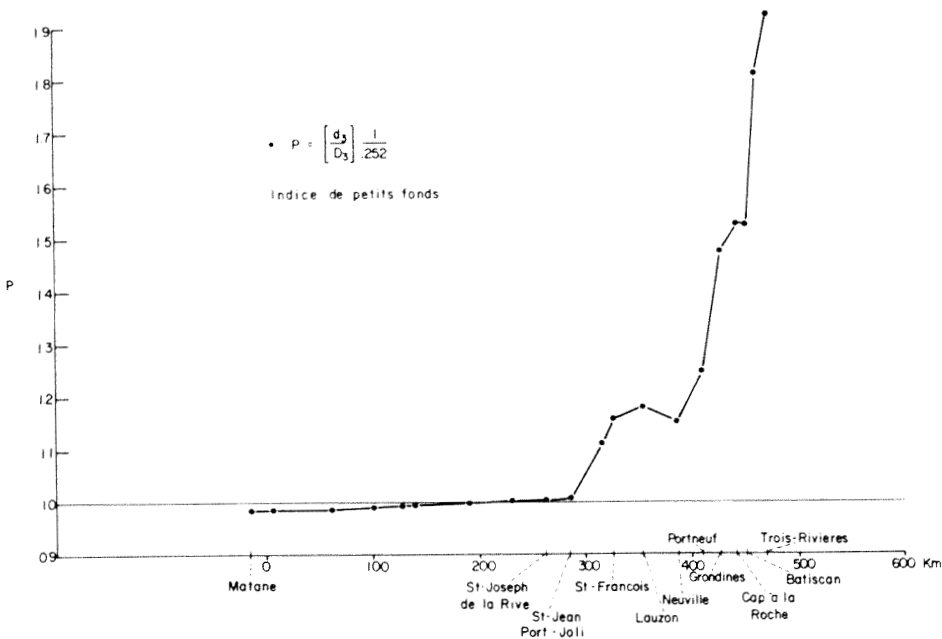


Figure 12. Indice de distorsion $R = \mu_2 (d_3) / 0,252$ dans l'estuaire du Saint-Laurent. $R > 1$ indique que la distorsion devient appréciable et qu'une représentation harmonique du niveau d'eau observé devient impraticable.

- a = l'orientation du demi-grand axe de l'ellipse de courant (nous supposons dans ce qui suit qu'elle est perpendiculaire à la section)
- M = le demi-grand axe de l'ellipse de courant (m/sec)
- m = le demi-petit axe de l'ellipse de courant (m/sec)
- g = La situation de Greenwich de l'oscillation verticale (degrés, gradients ou cycles)
- g_c = la situation de Greenwich de l'oscillation horizontale.

Dans l'équation de puissance, la puissance pulsative P_p est affectée par le facteur $(1 + \cos(2\sigma t - g))$ alors que la puissance alternative P_a a pour facteur $\sin(2\sigma t - g)$. La puissance pulsative a donc une moyenne de P_p au cours d'une période complète de l'onde composante; la puissance alternative P_a a une moyenne de 0 sur la même période. La puissance pulsative reflète l'effet du frottement et la retardation des forces de marées: elle mesure la perte d'énergie à l'intérieur du système. La puissance alternative représente la partie de l'énergie qui se transforme alternativement en énergie cinétique ou potentielle; elle est restituée à l'océan après chaque cycle de marée.

Il n'y a aucune difficulté pratique à évaluer les quantités h et L à partir des cartes hydrographiques et les cartes cotidales permettent de déduire les valeurs de H et g aux points désirés. La variable la plus difficile est le déplacement horizontal ou courant de marée dû à la composante harmonique. On ne peut l'obtenir que par des mesures de courant qui sont difficiles, coûteuses et malaisées à interpréter en général. Farquharson (1962-1966) a effectué de telles mesures dans les détroits de Cabot et de Belle-Isle et Farquharson (1966) et Forrester (1967) ont fait des mesures de courant à l'entrée de l'estuaire. Dans ce qui suit, nous allons étudier la composante M_2 du courant de marée car, comme nous l'avons vu, cette onde représente adéquatement les conditions moyennes de marée dans les régions qui nous intéressent. Toutefois les mesures recueillies sont trop grossières pour faire des estimés précis des puissances recherchées et nous allons supposer dans ce qui suit que la composante horizontale M_2 est rectiligne dans les détroits de Belle-Isle et Cabot, donc que $m = 0$. De plus nous avons trouvé que les estimés de courant de marée que Forrester a fait dans l'estuaire (1972) en

s'appuyant sur la marée verticale observée et l'équation de continuité sont plus caractéristiques de la marée barotropique que les mesures directes de courant. Nous allons donc utiliser les formules (5) et (6) sous la forme :

$$P_p = 1/2 \rho ghLHM \cos(g_c - g) \quad (5a)$$

$$P_a = 1/2 \rho ghLHM \sin(g_c - g) \quad (6a)$$

Ces formules indiquent que pour une onde stationnaire ($g_c - g = 90^\circ$), la puissance est purement alternative, alors que pour une onde progressive ($g_c - g = 0$), la puissance est purement pulsative (l'énergie n'est jamais restituée à l'océan).

Nous donnons dans le tableau III des estimés de ces puissances dans les détroits de Belle-Isle et de Cabot, utilisant des valeurs moyennes du courant de marée dû à M_2 basées sur les mesures de Farquharson ainsi qu'à divers points de l'estuaire jusqu'au pont de Québec, utilisant les valeurs de Forrester déduites de l'équation de continuité. Nous devons nous rappeler qu'une représentation harmonique de la marée devient inadéquate dépassé l'île d'Orléans et que de plus, l'emploi de l'équation de continuité est basé sur l'hypothèse d'une réflexion parfaite de l'onde dans les environs du lac Saint-Pierre, qui n'est probablement pas satisfaite.

Les puissances pulsatives sont positives et donc dirigées vers l'amont (nous choisissons comme positif le courant qui est dirigé vers l'intérieur du Golfe et en amont, comme Farquharson a fait). La puissance alternative que l'on trouve dans le détroit de Cabot a un signe opposé aux autres puissances de ce type; ceci est dû au fait que la marée en ce point diffère d'environ 180° en phase des

autres points où nous avons fait ces calculs. Nous devons nous souvenir d'autre part que cette énergie n'est jamais perdue et qu'elle réapparaît à chaque cycle de marée. La différence de signe indique tout simplement que la puissance alternative est dirigée vers l'océan Atlantique alors qu'elle est dirigée en amont dans le détroit de Belle-Isle et dans l'estuaire et vice versa.

Les puissances pulsatives injectées dans les détroits de Belle-Isle et de Cabot sont dissipées dans le système du Saint-Laurent; donc l'océan Atlantique supplée en moyenne un pouvoir de $5,7 \times 10^6$ kw à ce système en tout temps. Ceci semble un chiffre énorme mais en fait, cette énergie accumulée au cours d'une année suffirait à peine pour élever la température de la masse d'eau dans le système par 10^{-6}° C. Le taux auquel cette puissance pulsative décroît le long de l'estuaire indique les endroits où l'effet de la dissipation devient important. Par exemple nous voyons que cette puissance diminue appréciablement entre Tadoussac et Saint-Joseph-de-la-Rive alors qu'elle avait peu diminué entre Pointe-des-Monts et Tadoussac; il s'ensuit donc que l'onde M_2 s'effrite considérablement entre Tadoussac et Saint-Joseph-de-la-Rive. D'autre part, nous notons que la somme des puissances alternatives qui pénètrent par les détroit de Cabot et de Belle-Isle est moindre que celle qui est suggérée par les calculs de Forrester à la Pointe-des-Monts. Ceci ne semble pas acceptable. Il faut toutefois nous souvenir que les estimés dans les embouchures sont basés sur des mesures directes alors que celle à Pointe-des-Monts est essentiellement théorique mais probablement plus fiable. Par

TABLEAU III

Calcul de la puissance contribué par l'onde M_2 en divers points du système du Saint-Laurent

Section	Largeur	Profondeur	Marée verticale	Marée horizontale	Déphasage	Puissance	
	L m	h m	H m	M m/sec	$g_c - g$ degrés	P_p $\times 10^6$ kw	P_a $\gamma 10^6$ kw
Belle-Isle	18300	55	0,37	0,5	242 - 298 = -56°	0,51	-0,76
Cabot	109800	300	0,38	0,18	310 - 248 = 62°	5,18	9,75
Pointe-des-Monts (22)	51820	223	1,16	0,18	339 - 48 = -69°	4,24	-11,04
Tadoussac (18)	37100	28	1,56	0,69	23 - 74 = -51°	3,45	-4,26
Saint-Joseph-de-la-Rive (14)	23060	14	1,86	1,16	58 - 125 = -67°	1,33	-3,14
Île-aux-Oies (12)	16000	12,5	1,98	0,88	77 - 150 = -73°	0,50	-1,63
Pont de Québec (9)	2590	8,5	1,54	1,55	154 - 226 = -72°	0,08	-0,25

Le nombre entre parenthèses donne le nombre de la section utilisé dans le schème de Forrester (1967).

exemple nous avons pris la valeur moyenne du courant de marée dû à M_2 , en nous basant sur la section de Farquharson, comme étant 0,36 nœuds. Les mesures de courant étant ce qu'elles sont, une valeur de 0,40 nœuds ne serait pas invraisemblable et dans ce cas nous obtiendrions $10,83 \times 10^6$ kw plutôt que $9,75 \times 10^6$ kw pour la puissance alternative supplée à ce point. Avec ce choix de vitesse moyenne, il n'y aurait plus de difficulté. Nous notons que les puissances qui pénètrent par le détroit de Belle-Isle sont de l'ordre de 10% de celles qui pénètrent par le détroit de Cabot: il s'ensuit que l'importance du détroit de Belle-Isle sur le comportement du système du Saint-Laurent est beaucoup moindre que celle du détroit de Cabot. Les cartes cotidales indiquent la même chose à leur façon: la marée qui entre par le détroit de Belle-Isle n'a qu'une influence locale.

Références

ANONYME. Table des marées et courants du Canada, vol. 3. Fleuve St-Laurent et rivière Saguenay, 1975, Service Hydrographique du Canada. Ministère de l'environnement, Ottawa, 59 p.
Niveau d'eau: hauteurs de pleine et basse mer. 1975. Service Hydrographique du Canada, Ottawa. xix + 226 p.

- FARQUHARSON, W. I., 1962. Tides, tidal streams and currents in the Gulf of St. Lawrence. Canadian Hydrographic Service, Ottawa, iii + 47 p.
- FARQUHARSON, W. I. and W. B. BAILEY, 1966. Oceanographic Study of Belle Isle Strait 1963. — BIO Rep. N° 66-9. Inst. Océanogr. Bedford, Dartmouth, N. E. iv + 78 p.
- FARQUHARSON, W. I., 1966. St. Lawrence Estuary current surveys. — BIO Rep. N° 66-6. Inst. Océanogr. Bedford, Dartmouth, N. E., 84 p.
- FORRESTER, W. D., 1967. Currents and geostrophic currents in the St. Lawrence Estuary. — BIO Rep. N° 67-5. Inst. Océanogr. Bedford, Dartmouth, N. E. xiii + 175 p.
- FORRESTER, W. D., 1972. Courants et débits de marée dans le fleuve Saint-Laurent et son estuaire. — Revue Hydrographique Internationale, 49 (1): 99-112.
- GODIN, G., 1971. Hydrodynamical studies on the St. Lawrence River. Ms Rep. Ser. N° 18. Mar. Sci. Brch, Dep. Energy, Mines Resour., Ottawa. v + 116 p.
- GODIN, G., 1977. The Identification and classification of tidal records through Pattern recognition. — Mar. Sci. Directorate, MS Rep. Ser. N° 41. Dep. Fish Envir., Ottawa. v + 46 p.
- SCHÖNFELD, J. C., 1956. Circulation de l'énergie dans les mers littorales, p. 157-165. In: Les énergies de la mer. — C. r. Quatrième J. Hydraulique. Vol. 1. Société Hydrotechnique de France 1956. La Houille Blanche. Grenoble.

COMPLÉMENT ET ANALYSE DES HAUTEURS DE VAGUES DANS LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

Yvon OUELLET et Jose LLAMAS

*Centre de recherches sur l'eau, Université Laval,
Ste-Foy, Québec, G1K 7P4*

Résumé

Les enregistrements des hauteurs de vagues effectués par le Conseil national de recherches durant les années 1966 et 1967 en dix stations dans le golfe du Saint-Laurent constituent présentement l'ensemble de données le plus complet pour la connaissance de ce paramètre. Dans le but d'aider les praticiens, nous avons donc cherché à prédire, à partir d'une analyse statistique de ces données, la réalisation des valeurs extrêmes par extrapolation des fonctions empiriques de distribution des hauteurs de vagues obtenues par la méthode des polynômes orthogonaux. Pour y arriver, nous avons dû d'abord compléter le grand nombre de données manquantes dans les séries d'enregistrements à l'aide des techniques de régression simple et de régression multiple. Nous avons ensuite déterminé les fonctions de corrélation et de densité spectrale des enregistrements complétés et non-complétés en vue de faire ressortir la variabilité des phénomènes dans le temps (périodicités) et dans l'espace (décalage). À cause de la non-stationnarité des enregistrements de vagues d'un mois à l'autre, les données ont été rendues homogènes par rapport à une période donnée de l'année (septembre) et des coefficients multiplicatifs ont été déterminés pour les autres mois de l'année en période d'eau libre. Dans le présent article, la méthodologie de l'étude est présentée avec à l'appui, des résultats obtenus à une station donnée.

Abstract

A wave climate study has been undertaken by the Hydraulic Section of the National Research Council of Canada at ten stations in the Gulf of St. Lawrence during a two year period (1966-1967). For the practitioners' interests, extreme values of wave heights have been obtained from a statistical analysis of these data, that is by extrapolation of empirical distribution functions which have been determined using orthogonal polynomials. Since the time series were suffering of a great number of missing data, these have been completed through the use of simple and multiple regression analysis. Spectral analysis of the completed and non completed data has been done through the determination of the correlation and spectral density functions in order to evaluate the temporal (periodicities) and spatial (phase) variability of the phenomena under study. Because of the non-stationarity of the significant wave height records, these data have been made homogeneous for one selected period (September) of the year and a multiplication factor has been determined for the other months of the year. Results of a given station are presented to support the methodological approach.

Introduction

Le régime des vagues dans l'estuaire et dans le golfe du Saint-Laurent est encore relativement peu connu et il n'y a eu qu'un nombre restreint de campagnes de mesures en vue de l'amélioration de ces connaissances (Baird, 1968). Parmi celles-ci, les observations faites par le Conseil national de recherches du Canada fournissent la série de données la plus complète et la plus conti-

nue dans cette région (Ploeg et Ashe, 1971). Ces données ont été recueillies durant deux saisons estivales consécutives, soit en 1966 et 1967, aux stations de Cap-Chat, Cap d'Espoir, Pointe-Ouest et Sept-Iles. Durant la deuxième saison, des relevés ont également été faits en six autres stations, soit à Pointe-Nord, Pointe-Est, Rocher-aux-Oiseaux, Pointe Heath, Cap Whittle et Cap Nord, tel que l'indique la figure 1.

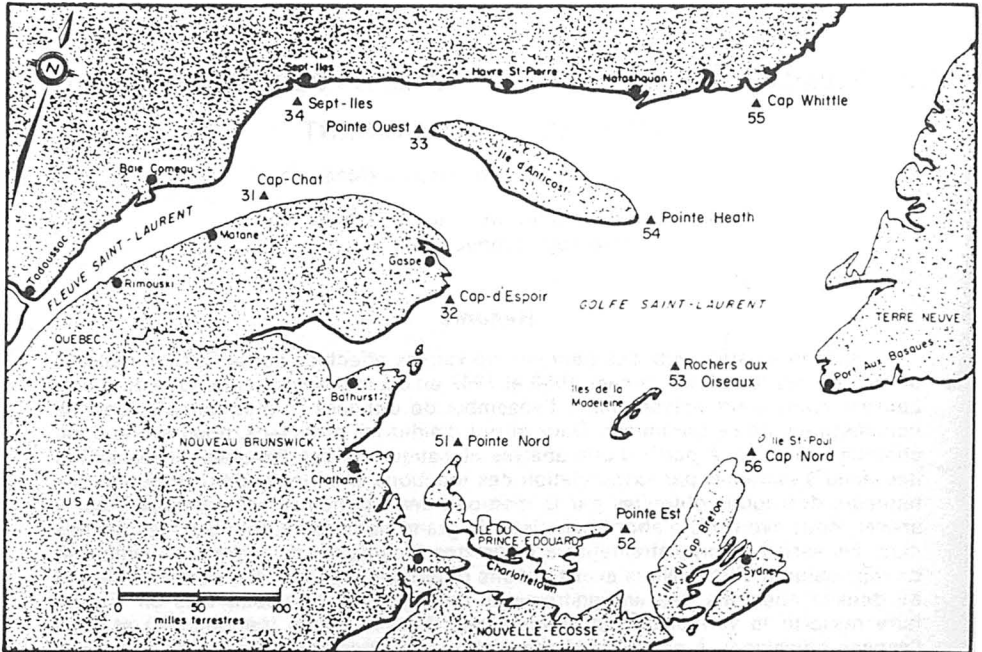


Figure 1. Localisation des stations de mesures.

Dans le but de connaître le régime des vagues dans cette région, en particulier les courbes de distribution de leur hauteur, il apparut utile de procéder à une analyse statistique de ces données. Une meilleure connaissance du régime des vagues peut s'avérer utile aux navigateurs qui utilisent cette étendue d'eau navigable et aux ingénieurs qui sont appelés à construire des ouvrages maritimes. La présente étude vise à leur fournir, en plus des courbes de distribution des hauteurs significatives des vagues, les valeurs extrêmes obtenues à partir d'une extrapolation de ces dernières.

Les auteurs ont d'abord effectué cette analyse statistique à l'aide des fonctions de corrélation (autocorrélation et corrélation croisée) et de densité spectrale (spectre) de ces enregistrements. La détermination des fonctions empiriques de distribution des hauteurs des vagues est obtenue à l'aide de la méthode des polynômes orthogonaux. La comparaison des valeurs ainsi déterminées et de la fonction de distribution log-normale des hauteurs de vagues observées permet de jauger la sensibilité de l'extrapolation.

À cause des valeurs manquantes et des interruptions dans les séries de données, nous avons avant tout utilisé les techniques

de la régression simple et de la régression multiple pour compléter ces séries de données. Une comparaison entre les analyses statistiques des séries complétées et non complétées permet de vérifier si les séries complétées possèdent les mêmes propriétés statistiques que les séries non complétées. Les séries complétées permettent alors de disposer d'un plus grand nombre de valeurs pour déterminer les statistiques les plus importantes, telles que les périodicités ou le décalage moyen des phénomènes que peuvent contenir de telles données. Un examen sommaire des courbes de fréquence du vent nous a permis de relier la direction prédominante des vagues et celle du vent, pour lequel les séries de données sont plus longues et complètes.

Méthodologie de l'étude

Pour compléter les enregistrements de vagues nous avons d'abord fait appel à la technique de régression simple, facile à mettre en œuvre, puis, en raison du nombre important de valeurs manquantes, à une technique de régression multiple faisant intervenir jusqu'à cinq variables indépendantes.

Pour la régression simple, il s'agit d'évaluer les coefficients b_{ij} et les constantes a_{ij} de la relation linéaire de la forme suivante :

$$X_j = a_{ij} + b_{ij} X_i \tag{1}$$

entre une variable explicative X_i et une variable dépendante X_j . Ces coefficients de régression sont donnés par :

$$b_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ii}} \quad \text{et} \quad a_{ij} = \overline{X_j} + b_{ij} \overline{X_i} \tag{2}$$

où $\overline{X_i}$ et $\overline{X_j}$ sont les moyennes des $i^{\text{ème}}$ et $j^{\text{ème}}$ variables et S_{ij} la somme des produits croisés des écarts par rapport à la moyenne pour le couple de variables (i, j), lesquelles valeurs sont calculées à partir des valeurs non manquantes qu'elles ont en commun.

À cause du plus grand nombre de données manquantes en 1966, cette technique n'a été appliquée que pour compléter les enregistrements de l'année 1967.

En fait, la régression simple est un cas particulier de la régression multiple qui peut s'écrire sous la forme :

$$Y = \sum_{i=1}^n b_i X_i + R \tag{3}$$

où X_i représente une variable indépendante standardisée, b_i un coefficient de régression normalisé, Y la variable dépendante et R le résidu.

Il s'agit de déterminer l'ensemble des valeurs de b_i pour minimiser l'écart type du résidu, ce qui fournit une prédiction optimale de la variable dépendante. Rappelons que le coefficient de régression simple normalisé est le coefficient de corrélation entre les deux variables indépendantes standardisées. Dans ce cas, lorsque les variables indépendantes prennent leur valeur moyenne, la valeur estimée qui en résulte est la valeur moyenne de la variable dépendante.

L'application de cette méthode a été faite à l'aide de la technique dite *Stepwise Multiple Regression* qui permet de trouver rapidement une bonne combinaison de variables indépendantes pour l'équation de régression (IBM, APPLICATION PROGRAM, 1967). À chaque étape, une variable est choisie pour être ajoutée au groupe déjà formé; cette variable est celle qui, en conjonction avec les autres variables, donne la meilleure équation. On continue la procédure jusqu'à ce qu'on ait atteint un nombre fixé de variables, ou jusqu'à ce que plus aucune variable ne puisse apporter une contribution significative à la variance expliquée.

La fonction d'autocorrélation ou d'autocovariance (qui est la fonction d'autocorré-

lation d'un processus avec moyenne nulle) constitue l'une des premières fonctions à analyser pour décrire les propriétés statistiques d'un processus stochastique. Pour un processus ergodique, cette fonction est définie par l'espérance mathématique du produit des variables décalées d'un pas τ :

$$C_{xx}(\tau) = E [(x(t) - \mu)(x(t + \tau) - \mu)] \tag{4}$$

et elle ne dépend que du pas τ (Jenkins and Watts, 1969). Pour un pas nul, $C_{xx}(0)$ s'identifie alors avec la variance σ_x^2 .

Cette fonction permet de mesurer le degré de dépendance entre les valeurs successives d'une série et de faire ressortir les périodicités du phénomène.

La fonction de densité spectrale, qui est la transformée de Fourier de la fonction d'autocorrélation, permet de montrer de quelle façon l'énergie ou la variance est distribuée dans le domaine des fréquences. Pour l'évaluation de ces fonctions nous avons utilisé l'analyseur de Fourier (Roth, 1970) qui calcule numériquement, à l'aide de l'algorithme de Cooley et Tukey, la transformée rapide de Fourier. Le spectre est alors déterminé à partir du carré du module de la transformée de Fourier de l'enregistrement, tandis que la fonction de corrélation est obtenue en prenant la transformée de Fourier du spectre.

La fonction de covariance croisée de chaque couple de stations permet d'étudier le degré de corrélation et de mesurer le décalage moyen des phénomènes entre les diverses stations. Cette fonction s'écrit :

$$C_{xy}(\tau) = E [(x(t) - \mu_x)(y(t + \tau) - \mu_y)] \tag{5}$$

Pour le calcul des fonctions de distribution empiriques nous avons retenu la méthode des polynômes orthogonaux, dont l'expression analytique permet de déterminer facilement les valeurs extrêmes. L'application de cette méthode nécessite la connaissance des premiers moments statistiques de la distribution de chaque enregistrement de données regroupées en classes.

L'évaluation des fonctions de densité de probabilité a été effectuée sur la base d'une fonction de type Gamma et des polynômes orthogonaux de type Laguerre, ayant comme expression analytique :

$$f(x) = c_1 e^{-c_2 x} x^c [a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_k x^k] \tag{6}$$

où k est le nombre de moments statistiques nécessaires au calcul de la fonction.

Pour fins de comparaison, on a aussi utilisé la méthode empirique qui consiste à

classer les hauteurs par valeurs croissantes et à affecter la probabilité $\frac{n}{m+1}$ à la hauteur de rang n , n variant de 1 à m , où m est la taille de l'échantillon.

Résultats et discussion

Les méthodes précédentes ont été appliquées aux séries de données de hauteurs significatives (moyenne du plus haut tiers supérieur) observées dans le golfe du Saint-Laurent. Pour l'identification des séries de données, nous avons utilisé la numérotation, indiquée dans le tableau I, correspondant aux stations de mesures dont la localisation apparaît à la figure 1. Dans le tableau I apparaissent aussi les dates de début et de la fin des enregistrements de données pour les deux années. En fait, chaque série d'observations peut être considérée comme un échantillon (ou signal) appartenant à une famille de variables aléatoires, c'est-à-dire comme un processus stochastique. Dans ce qui suit, nous nous limiterons à présenter les résultats obtenus pour une seule station, soit Pointe-Ouest (no 33) et nous utiliserons la station de Cap-Chat (no 31) dans le cas des fonctions croisées. Pour les autres stations, des résultats similaires ont été obtenus (Boyer, Ouellet et Llamas, 1975).

Le tableau II présente la matrice des coefficients de corrélation obtenus à l'aide de la méthode de régression multiple pour l'année 1967 aux dix stations de mesures. Le processus utilisé pour compléter les données ainsi que la liste des valeurs complétées sont présentés en référence (Boyer, Ouellet et Llamas, 1975). Les données de l'année 1966 aux quatre stations de mesures n'ont pu être que partiellement complétées puisqu'il existait des périodes pour lesquelles aucune mesure n'était disponible. Sur les figures 2a et 2b, on présente les enregistrements non complétés et complétés à la station de la Pointe Ouest de l'île d'Anticosti pour l'année 1967.

Les figures 3a et 3b donnent respectivement les fonctions d'autocovariance et de spectre normalisées des enregistrements non-complétés des hauteurs significatives à la station no 33, tandis que les figures 4a et 4b montrent les fonctions correspondantes obtenues sur les valeurs complétées. Des courbes semblables ont été déterminées pour toutes les dix stations. La normalisation a été effectuée en divisant les valeurs

des fonctions par la variance de l'enregistrement.

Afin de déterminer si les pics présents dans le spectre étaient significatifs, nous avons comparé les spectres ainsi obtenus avec les spectres correspondants d'un processus purement aléatoire (Yevjevich, 1972) ou de processus autorégressifs d'ordre p . La comparaison du spectre avec celui d'un bruit blanc pour un niveau de signification de 5% montre qu'il existe un grand nombre de pics significatifs. Toutefois ceux-ci sont peu définis et varient dans l'espace et le temps, ce qui est révélateur de la variabilité temporelle et spatiale du phénomène.

Les figures 5a et 5b présentent l'évaluation numérique de la fonction de covariance croisée entre la station no 33 (Pointe Ouest) et la station no 31 (Cap-Chat), pour les enregistrements non complétés et complétés. Il est alors intéressant de mesurer le décalage du maximum à l'origine que nous présentons dans le tableau III pour chaque couple de stations et pour chacune des trois périodes de temps considérées (voir fig. 5b). Un décalage moyen de trois heures entre la station X et la station Y indique que le comportement de Y reflète celui de X après un délai de trois heures. Un examen de ce tableau révèle que, à l'exception de la station de Sept-Îles, le décalage moyen suit la direction nord-ouest, ce qui correspond à la direction prédominante des vents obtenus à partir des conditions météorologiques.

L'étude des fonctions de distribution d'une variable donnée repose sur l'indépendance des valeurs observées. Les fonctions de corrélation montrent qu'il existe une forte dépendance séquentielle dans les séries de hauteurs significatives de vagues mesurées à toutes les trois heures. Il a fallu d'abord chercher à assurer le plus possible l'indépendance séquentielle des valeurs en regroupant les points dans des sous-ensembles de points consécutifs.

Pour concilier la condition d'indépendance et le nombre requis de points pour l'analyse, nous avons considéré les sous-ensembles de 11 valeurs et pris pour valeur représentative de chaque sous-ensemble la valeur la plus élevée qui s'y trouvait. Ce dernier choix est fait dans le but de prédire les valeurs extrêmes. À partir des figures 6a et 6b, qui montrent respectivement les fonctions d'autocovariance et de spectre normalisées des enregistrements complétés et groupés provenant de la station no 33, on

TABLEAU I
Périodes d'activité des différentes stations de mesures

NOM DE LA STATION	NUMÉRO	DATES LIMITES POUR L'ANNÉE 1966	DATES LIMITES POUR L'ANNÉE 1967
Cap-Chat	31	17 juin à 13h - 1 décembre à 1h	13 juin à 7h - 6 décembre à 13h
Cap d'Espoir	32	16 juin à 7h - 8 décembre à 19h	19 juin à 16h - 12 décembre à 22h
Pointe Ouest (Anticosti)	33	22 juillet à 7h - 30 novembre à 16h	15 juin à 10h - 6 décembre à 7h
Sept-Iles	34	18 juin à 16h - 4 décembre à 13h	14 juin à 16h - 23 novembre à 16h
Pointe Nord	51	-	20 juin à 16h - 9 décembre à 13h
Pointe Est	52	-	23 juin à 10h - 8 décembre à 7h
Rocher aux Oiseaux	53	-	27 juin à 10h - 11 décembre à 22h
Pointe Heath	54	-	18 juin à 10h - 24 novembre à 4h
Cap Whittle	55	-	17 juin à 13h - 29 novembre à 22h
Cap Nord	56	-	24 juin à 13h - 27 novembre à 4h

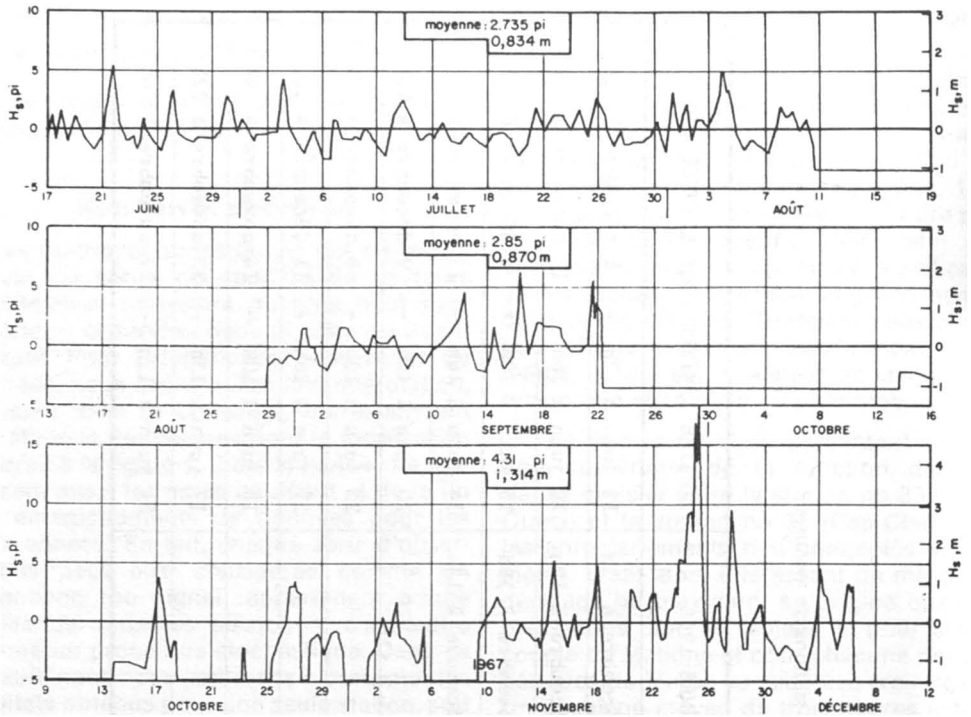


Figure 2a. Enregistrements non-complétés des hauteurs significatives de vagues à la station no 33.

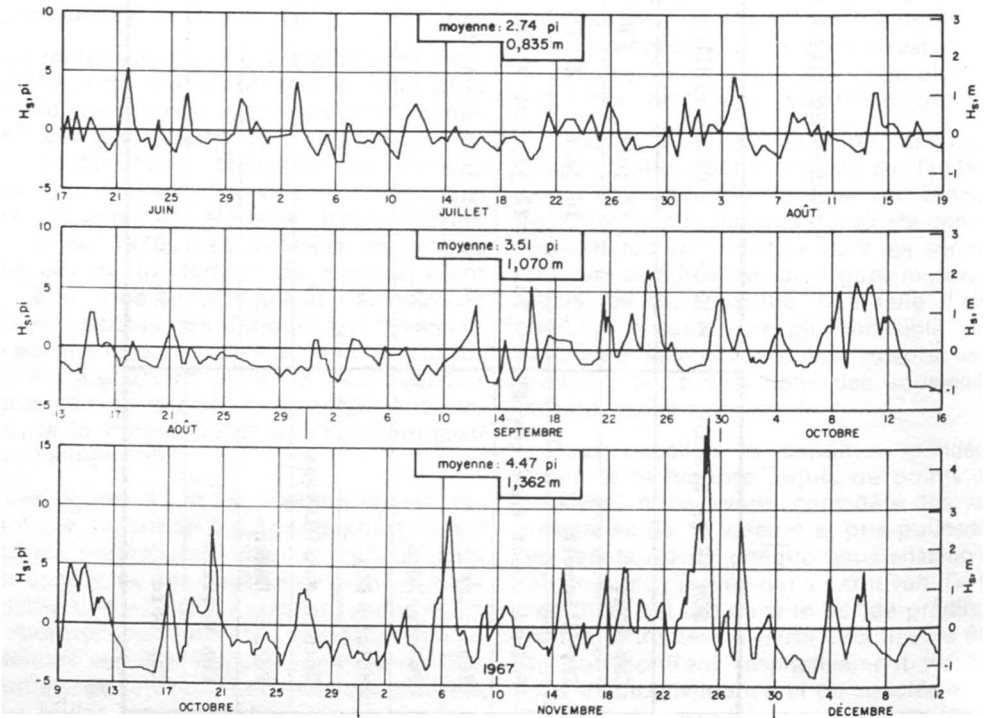


Figure 2b. Enregistrements complétés des hauteurs significatives de vagues à la station no 33.

TABLEAU II
Matrice des coefficients de corrélation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	VAG31	VAG32	VAG33	VAG34	VAG51	VAG52	VAG53	VAG54	VAG55	VAG56
1. VAG31	1,00	0,58	0,73	0,68	0,43	0,42	0,60	0,53	0,52	0,59
2. VAG32		1,00	0,64	0,57	0,59	0,51	0,74	0,77	0,55	0,70
3. VAG33			1,00	0,56	0,35	0,36	0,61	0,51	0,63	0,50
4. VAG34				1,00	0,17	0,18	0,41	0,30	0,35	0,37
5. VAG51					1,00	0,75	0,63	0,54	0,26	0,71
6. VAG52						1,00	0,78	0,39	0,42	0,69
7. VAG53							1,00	0,76	0,63	0,87
8. VAG54								1,00	0,76	0,58
9. VAG55									1,00	0,48
10. VAG56										1,00

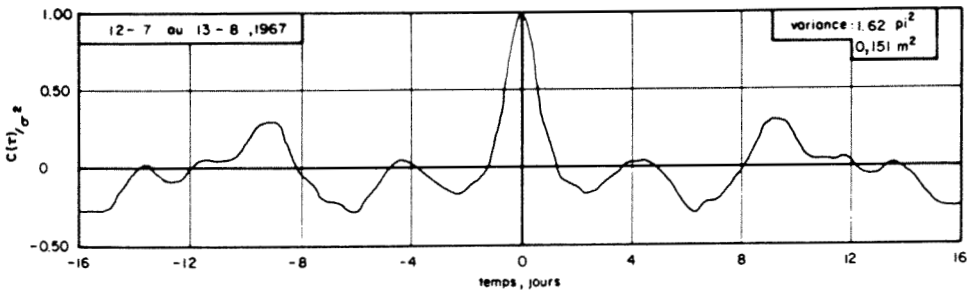


Figure 3a. Autocovariance normalisée des enregistrements non-complétés des hauteurs significatives de vagues, à la station 33.

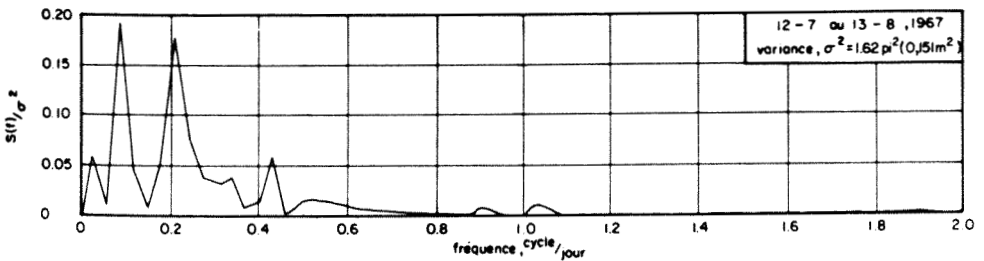


Figure 3b. Spectre normalisé des enregistrements non-complétés des hauteurs significatives de vagues, à la station 33.

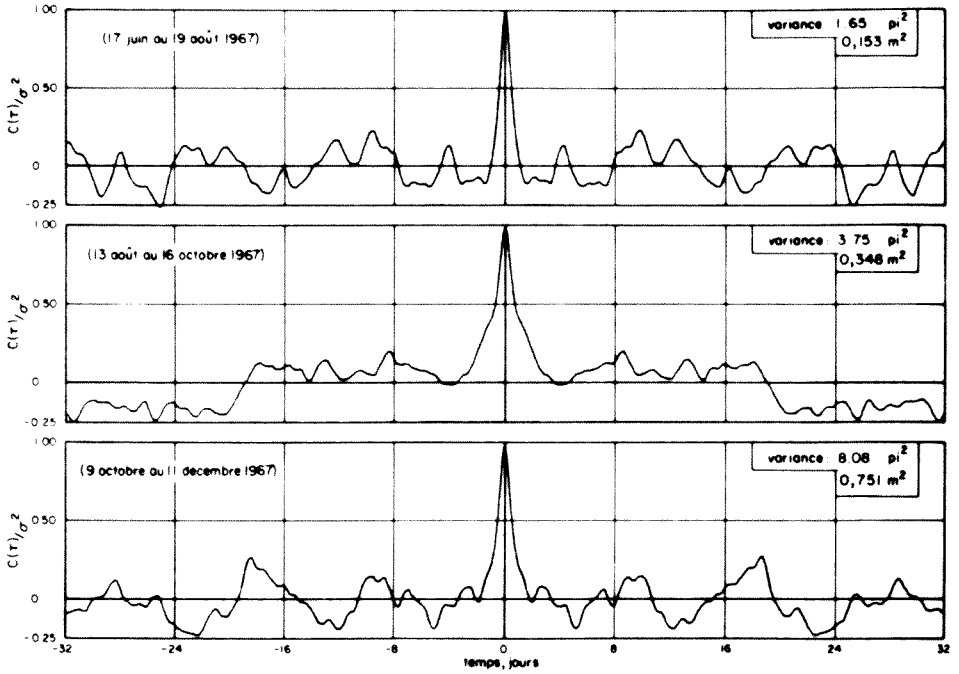


Figure 4a. Autocovariance normalisée des enregistrements complétés des hauteurs significatives de vagues à la station no 33.

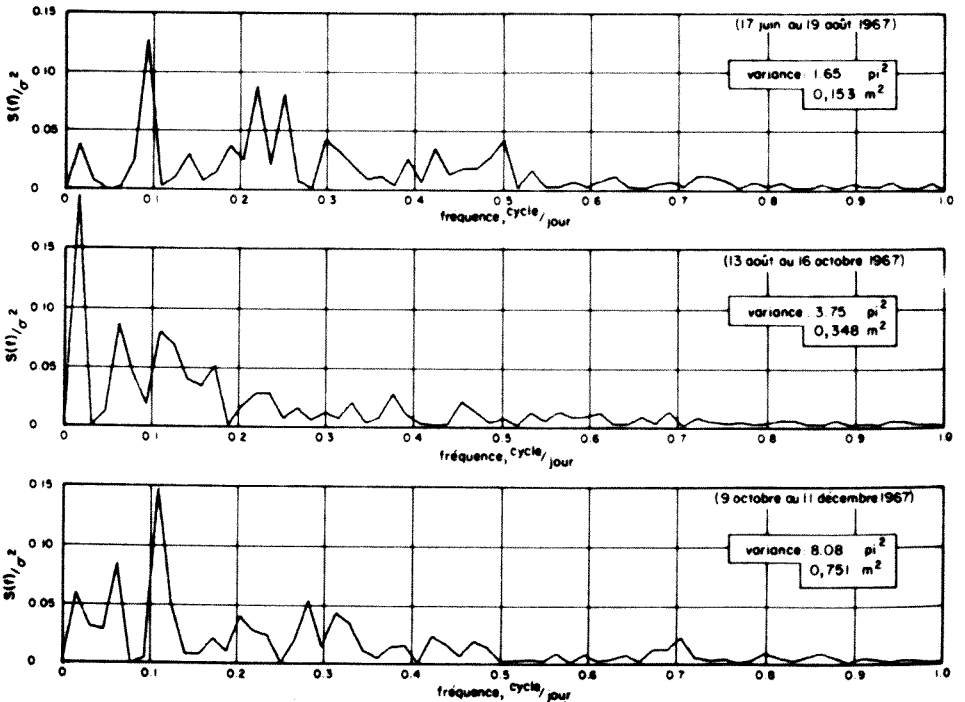


Figure 4b. Spectre normalisé des enregistrements complétés des hauteurs significatives de vague à la station no 33.

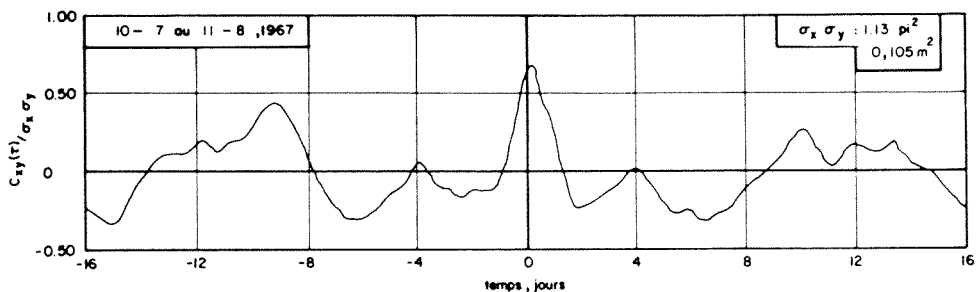


Figure 5a. Covariance croisée normalisée des enregistrements non-complétés des hauteurs significatives de vagues entre la station no 31 et la station no 33.

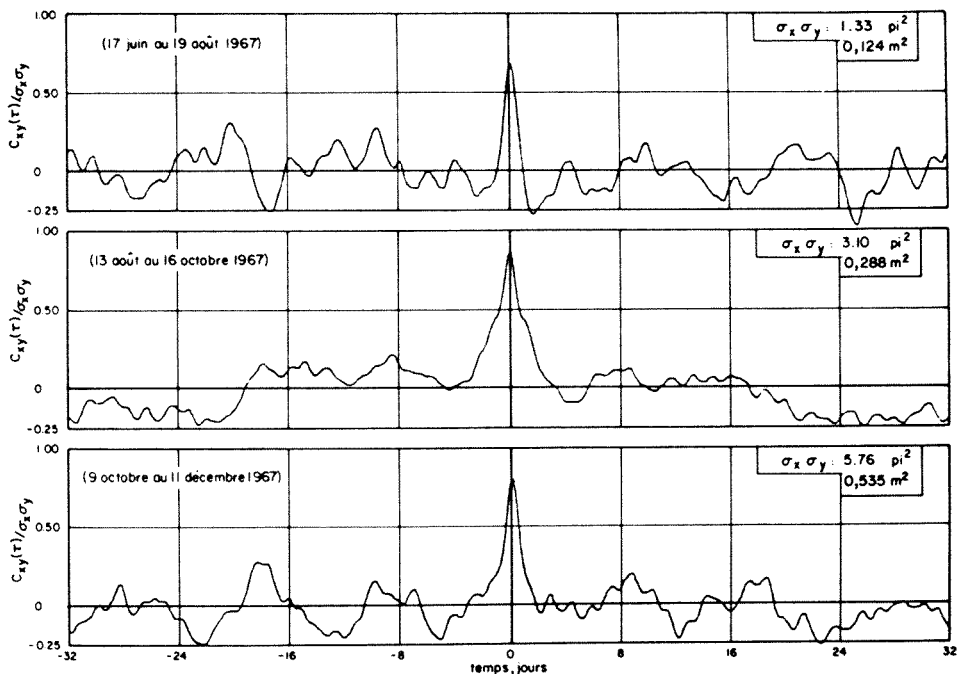


Figure 5b. Covariance croisée normalisée des enregistrements complétés des hauteurs significatives de vagues entre la station no 31 et la station no 33.

peut constater qu'il existe encore une certaine dépendance séquentielle. D'ailleurs, l'application du test d'Anderson, avec un niveau de signification de 1%, montre qu'il subsiste effectivement une dépendance séquentielle, bien que faible. Par exemple, le coefficient d'autocorrélation doit être compris entre les limites $-0,2356$ et $+0,2198$ pour que l'hypothèse de dépendance soit maintenue. La série annuelle comporte alors pour chaque année 128 valeurs pour lesquelles l'indépendance séquentielle est admise.

Dans le tableau IV, on retrouve en plus du coefficient d'asymétrie les valeurs des sept premiers moments statistiques pour chaque station pour l'année 1967. Le tableau V renouvelle les mêmes informations pour les stations 31 à 34 pour l'ensemble des deux années 1966 et 1967. La valeur du coefficient d'asymétrie étant toujours à l'extérieur de l'intervalle $(-0,5; +0,5)$, le choix s'est arrêté sur une fonction de type Gamma et des polynômes orthogonaux de type Laguerre. Les deux paramètres de la fonction Gamma sont

TABLEAU III

Décalages (en heures) du maximum à l'origine des courbes de covariance croisée des enregistrements complétés des hauteurs de vague

1 \ 2	VAG31	VAG32	VAG33	VAG34	VAG51	VAG52	VAG53	VAG54	VAG55	VAG56
VAG31	\	0 + 6 0	- 6 0 - 0	0 + 0 0	+ 6 + 6 0	+ 6 + 6 0	0 0 0	0 0 0	- 3 - 3 - 3	0 0 - 3
VAG32	0 - 6 0	\	- 6 - 6 - 6	- 0 - 6 0	+ 3 + 3 + 3	0 0 0	- 3 - 3 - 3	- 3 - 0 - 0	-10 -10 -10	- 0 0 - 0
VAG33	+ 6 0 + 0	+ 6 + 6 + 6	\	0 0 0	+ 6 + 6 + 3	+10 + 6 0	+ 0 0 - 0	0 0 0	0 0 - 3	+ 6 0 0
VAG34	0 - 0 0	+ 0 + 6 0	0 0 0	\	+ 6 + 3 0	+ 3 + 3 - 3	0 - 6 - 3	- 3 - 0 - 3	-10 - 3 - 6	+ 3 - 3 - 3
VAG51	- 6 - 6 0	- 3 - 3 - 3	- 6 - 6 - 3	- 6 - 3 0	\	- 0 0 - 0	- 6 - 3 - 3	- 6 - 3 - 3	-10 -13 -10	- 6 - 3 - 3
VAG52	- 6 - 6 0	0 0 0	-10 - 6 0	- 3 - 3 3	+ 0 0 + 0	\	- 3 - 6 - 3	- 6 - 6 - 0	-13 -13 -10	- 3 - 6 0
VAG53	0 0 0	+ 3 + 3 + 3	- 0 0 + 0	0 + 6 + 3	+ 6 + 3 + 3	+ 3 + 6 + 3	\	0 0 0	- 6 - 6 - 3	0 0 0
VAG54	0 0 0	+ 3 + 0 + 0	0 0 0	+ 3 + 0 + 3	+ 6 + 3 + 3	+ 6 + 6 + 0	0 0 0	\	- 6 - 6 - 3	0 - 0 0
VAG55	+ 3 + 3 + 3	+10 +10 +10	0 0 + 3	+10 + 3 + 6	+10 +13 +10	+13 +13 +10	+ 6 + 6 + 3	+ 6 + 6 + 3	\	+ 6 + 6 + 3
VAG56	0 0 + 3	+ 0 0 + 0	- 6 0 0	- 3 + 3 + 3	+ 6 + 3 + 3	+ 3 + 6 0	0 0 0	0 + 0 0	- 6 - 6 - 3	\

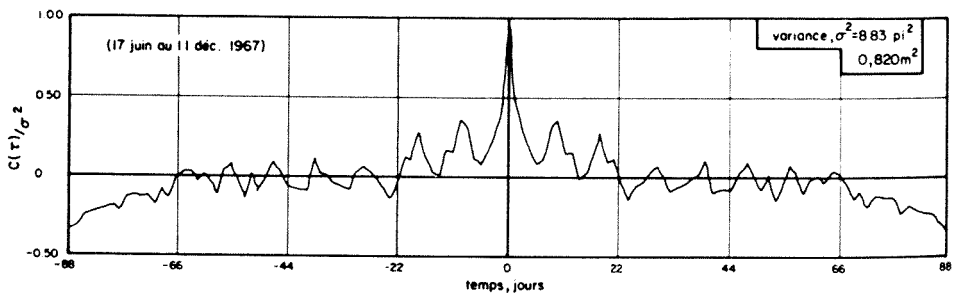


Figure 6a. Autocovariance normalisée des enregistrements complétés et groupés des hauteurs significatives de vagues, à la station 33.

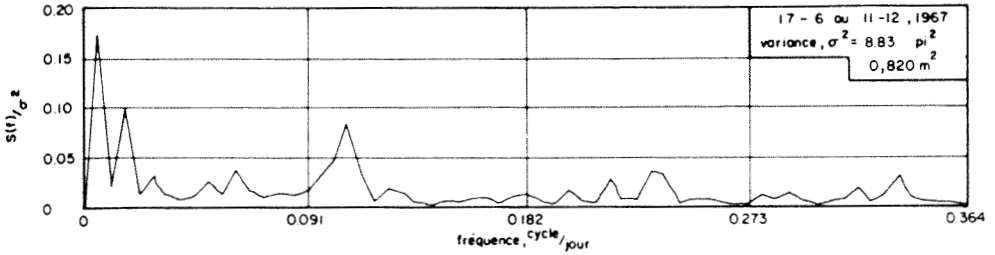


Figure 6b. Spectre normalisé des enregistrements complétés et groupés des hauteurs significatives de vagues, à la station 33.

estimés à partir des deux premiers moments de la série. Les fonctions de distribution des enregistrements complétés et regroupés des hauteurs significatives de vagues, à la même station pour les années 1966 et 1967, sont présentées à la figure 7.

Afin de vérifier si ces deux séries peuvent être assimilées à des échantillons appartenant à une même population statistique, nous avons appliqué le test de Kolmogorov-Smirnov, basé sur l'écart maximum entre les courbes le long de l'axe des probabilités. L'application de ce test a montré que l'hypothèse devait être rejetée pour les stations 31 et 34 et acceptée pour les stations 32 et 33. Le rejet provient de toute vraisemblance de l'inexactitude des moments évalués sur deux années seulement.

Avant de procéder à l'étape finale de la détermination des fonctions de distribution empiriques, il est nécessaire de pondérer les valeurs, c'est-à-dire de réduire la non-stationnarité du phénomène, de façon à former une population homogène. Le mois de septembre a été choisi comme mois de référence et les coefficients de pondération sont basés sur la moyenne de chaque mois de façon à rapporter les valeurs de chaque mois à celles du mois de septembre. Pour les stations nos 31 et 34 la pondération a été effectuée sur chaque année.

Le tableau VI présente les valeurs numériques des coefficients de la fonction de densité de probabilité déterminée pour le mois de référence, c'est-à-dire le mois de septembre. Les moments utilisés pour effectuer ces calculs sont tirés du tableau IV, à l'exception des stations nos 31 à 34 pour lesquelles les moments ont été calculés sur l'ensemble des deux années (tableau V). La figure 8 montre les courbes de distribution, tracées sur du papier à échelle logarithmique-normale, obtenues à partir de la mé-

thode des polynômes orthogonaux de Laguerre et de la méthode empirique. On peut voir que les valeurs obtenues par ces deux méthodes se comparent bien mais qu'elles s'écartent de la loi log-normale qui est souvent utilisée pour l'extrapolation des valeurs (Jasper, 1956).

Pour retrouver les fonctions de distribution des autres mois, il s'agit de multiplier chaque valeur sur l'axe des hauteurs de vague par l'inverse du coefficient de pondération du mois considéré. Ces coefficients multiplicatifs, rassemblés dans le tableau VII, peuvent aussi être utilisés pour estimer les hauteurs maximales probables pour les autres mois de l'année. Par exemple, l'extrapolation à l'aide de polynômes montre qu'à la station 33 les hauteurs maximales probables sont respectivement de 5,5 m et de 6,0 m pour des périodes moyennes de retour de 1 an et de 5 ans. À cette station c'est le mois d'octobre qui semble donner les plus grandes valeurs, avec des hauteurs maximales probables correspondantes de 6,5 m et de 7,0 m.

Conclusion

Dans le but de tirer le plus d'information possible de l'ensemble des enregistrements de hauteurs de vagues disponibles dans le golfe du Saint-Laurent, nous nous sommes surtout attachés à déterminer les caractéristiques statistiques qui, tout en présentant un certain intérêt pratique, pouvaient fournir un moyen d'identification de la structure des séries.

La faible quantité de données a pour effet de réduire d'autant la précision des estimateurs des fonctions considérées. L'utilisation et l'interprétation des courbes doivent donc, dans ce sens, se faire avec une certaine pru-

TABLEAU IV
Moments statistiques des différents enregistrements regroupés

	Moment Station	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5	Ordre 6	Ordre 7	Asymétrie
	1966	31	$0,2387 \times 10^1$	$0,8173 \times 10^1$	$0,3659 \times 10^2$	$0,1935 \times 10^3$	$0,1130 \times 10^4$	$0,7030 \times 10^4$	$0,4571 \times 10^5$	1,354
32		$0,5012 \times 10^1$	$0,3306 \times 10^2$	$0,2719 \times 10^3$	$0,2623 \times 10^4$	$0,2827 \times 10^5$	$0,3295 \times 10^6$	$0,4065 \times 10^7$	1,188
33		$0,5406 \times 10^1$	$0,4078 \times 10^2$	$0,3934 \times 10^3$	$0,4462 \times 10^4$	$0,5593 \times 10^5$	$0,7459 \times 10^6$	$0,1036 \times 10^8$	1,227
34		$0,3262 \times 10^1$	$0,1337 \times 10^2$	$0,6556 \times 10^2$	$0,3669 \times 10^3$	$0,2256 \times 10^4$	$0,1482 \times 10^5$	$0,1021 \times 10^6$	0,912
1967	31	$0,3580 \times 10^1$	$0,1639 \times 10^2$	$0,9186 \times 10^2$	$0,5957 \times 10^3$	$0,4253 \times 10^4$	$0,3231 \times 10^5$	$0,2558 \times 10^6$	1,131
	32	$0,4893 \times 10^1$	$0,3049 \times 10^2$	$0,2465 \times 10^3$	$0,2503 \times 10^4$	$0,2995 \times 10^5$	$0,3979 \times 10^6$	$0,5637 \times 10^6$	1,982
	33	$0,5381 \times 10^1$	$0,3453 \times 10^2$	$0,2586 \times 10^3$	$0,2209 \times 10^4$	$0,2116 \times 10^5$	$0,2238 \times 10^6$	$0,2580 \times 10^7$	0,966
	34	$0,4629 \times 10^1$	$0,2692 \times 10^2$	$0,1917 \times 10^3$	$0,1606 \times 10^4$	$0,1517 \times 10^5$	$0,1558 \times 10^6$	$0,1698 \times 10^7$	1,258
	51	$0,5003 \times 10^1$	$0,2848 \times 10^2$	$0,1834 \times 10^3$	$0,1321 \times 10^4$	$0,1049 \times 10^5$	$0,9028 \times 10^5$	$0,8303 \times 10^6$	0,995
	52	$0,5056 \times 10^1$	$0,3064 \times 10^2$	$0,2177 \times 10^3$	$0,1768 \times 10^4$	$0,1591 \times 10^5$	$0,1545 \times 10^6$	$0,1581 \times 10^7$	1,002
	53	$0,7164 \times 10^1$	$0,5871 \times 10^2$	$0,5413 \times 10^3$	$0,5527 \times 10^4$	$0,6155 \times 10^5$	$0,7373 \times 10^6$	$0,9372 \times 10^7$	0,743
	54	$0,5391 \times 10^1$	$0,3424 \times 10^2$	$0,2526 \times 10^3$	$0,2110 \times 10^4$	$0,1940 \times 10^5$	$0,1915 \times 10^6$	$0,1991 \times 10^7$	1,034
	55	$0,6054 \times 10^1$	$0,4120 \times 10^2$	$0,3106 \times 10^3$	$0,2552 \times 10^4$	$0,2252 \times 10^5$	$0,2109 \times 10^6$	$0,2075 \times 10^7$	0,626
	56	$0,7865 \times 10^1$	$0,7020 \times 10^2$	$0,7127 \times 10^3$	$0,8165 \times 10^4$	$0,1038 \times 10^6$	$0,1433 \times 10^7$	$0,2105 \times 10^8$	1,218

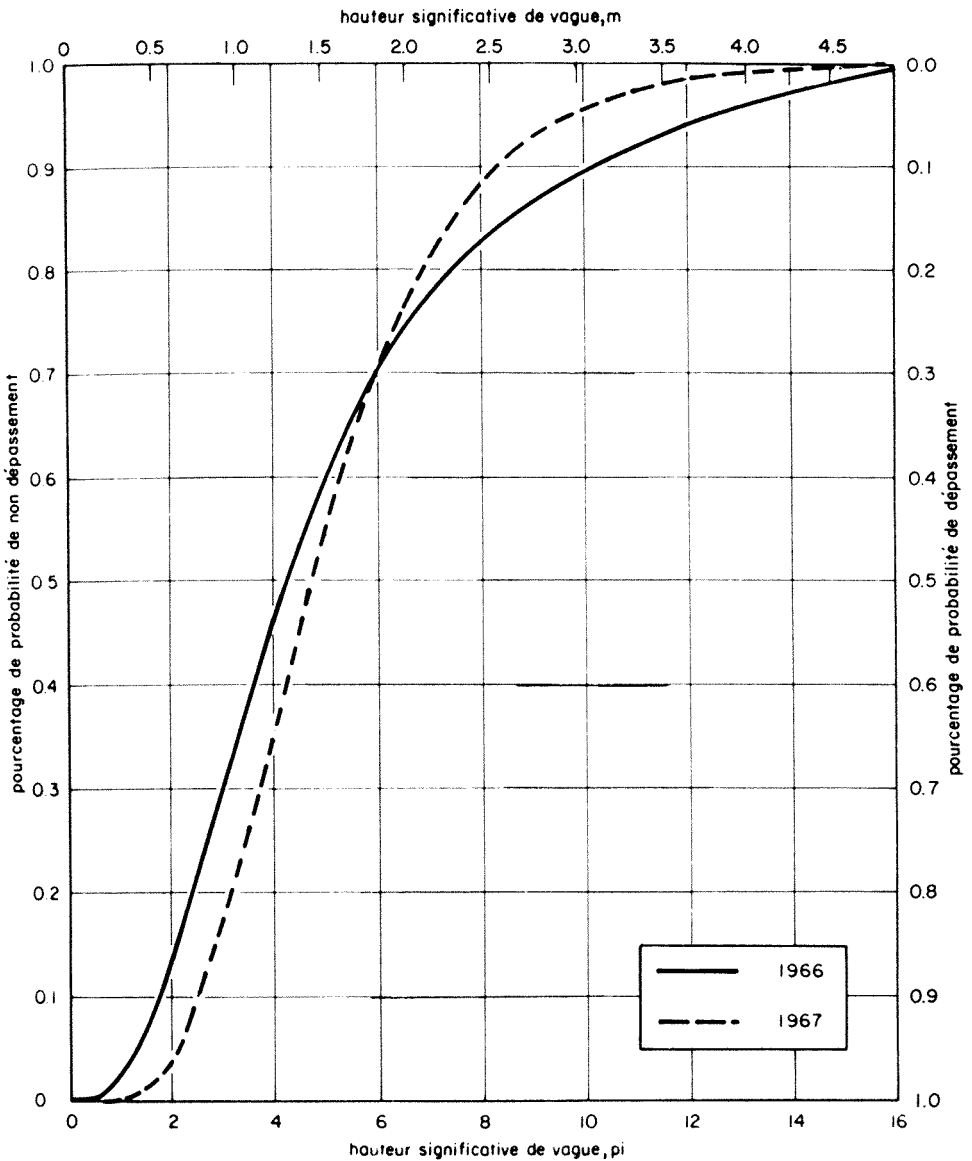


Figure 7. Fonctions de distribution des enregistrements complétés et regroupés des hauteurs significatives de vague pour l'année 1966 et l'année 1967, à la station no 33.

dence. De plus, les erreurs inhérentes aux données originales sont aussi incorporées aux présents résultats. Toutefois les méthodes mises en œuvre dans cette étude peuvent s'appliquer sans peine, voire d'une façon plus simple et plus rigoureuse, dans l'éventualité de la disponibilité d'un plus grand nombre de mesures. Il serait donc souhaitable de poursuivre les mesures, afin d'en arriver à une meilleure connaissance du régime des vagues dans cette région du Saint-Laurent.

Enfin, les résultats de l'analyse complète des données aux autres stations, qui n'ont pu être présentement fournis, sont disponibles dans un cahier du Centre de recherches sur l'eau de l'Université Laval (CENTREAU).

References

- BAIRD, W. F., 1968. Wave Data for Canada. Section 1. An Inventory to August 1968. Wave Climate Study Group, Design Directorate, Department of Public Works, Canada, 25 p.

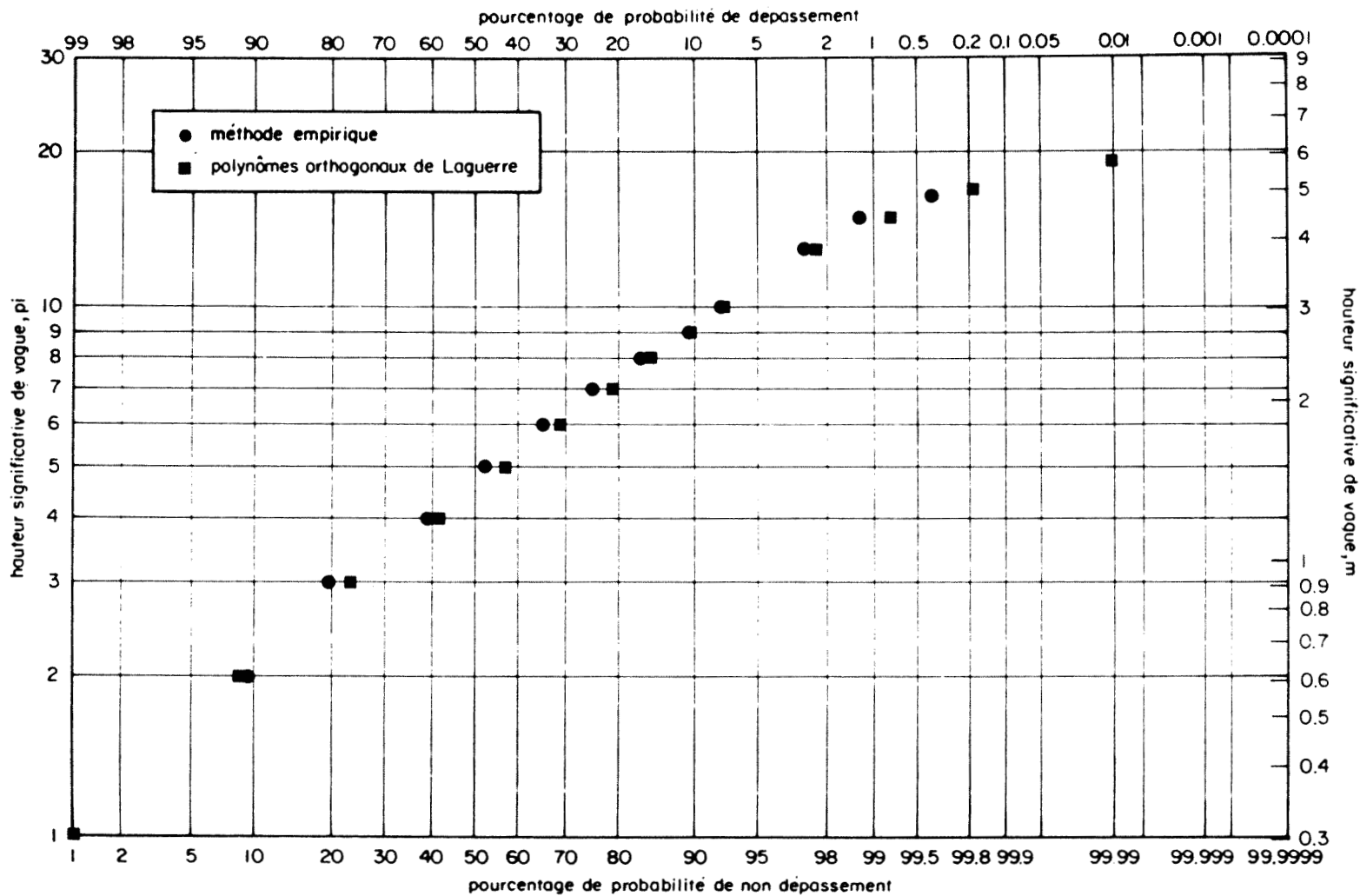


Figure 8. Fonction de distribution des hauteurs significatives de vague à la station no 33, pour le mois de septembre.

TABLEAU V
Moments statistiques des différents enregistrements regroupés

Moment Station	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5	Ordre 6	Ordre 7	Asymétrie
	1966-1967							
31	$0,2985 \times 10^1$	$0,1204 \times 10^2$	$0,6175 \times 10^2$	$0,3740 \times 10^3$	$0,2523 \times 10^4$	$0,1830 \times 10^5$	$0,1399 \times 10^6$	1,293
32	$0,4966 \times 10^1$	$0,3189 \times 10^2$	$0,2604 \times 10^3$	$0,2580 \times 10^4$	$0,2939 \times 10^5$	$0,3686 \times 10^6$	$0,4933 \times 10^7$	1,555
33	$0,5410 \times 10^1$	$0,3768 \times 10^2$	$0,3242 \times 10^3$	$0,3292 \times 10^4$	$0,3777 \times 10^5$	$0,4726 \times 10^6$	$0,6280 \times 10^7$	1,204
34	$0,3945 \times 10^1$	$0,1956 \times 10^2$	$0,1174 \times 10^3$	$0,8172 \times 10^3$	$0,6344 \times 10^4$	$0,5325 \times 10^5$	$0,4723 \times 10^6$	1,090

TABLEAU VI

Valeurs des coefficients des fonctions de densité de probabilité
des hauteurs maximales de vague (mois de septembre)

1966/1967	C ₁	C ₂	C	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇
VAG31	0,50102	-0,95425	1,84822	0,91323	0,08722	-0,02163	0,00142	--	--	--	--
VAG32	0,09203	-0,68697	2,41157	-1,32870	1,94397	-0,49621	0,05110	-0,002206	3,301×10 ⁻⁵	--	--
VAG33	0,06614	-0,64364	2,48236	-0,14526	0,89444	-0,20834	0,01765	-0,000309	-2,721×10 ⁻⁵	1,250×10 ⁻⁶	-1,442×10 ⁻⁸
VAG34	0,18061	-0,98761	2,89614	0,90197	0,07455	-0,01504	0,00084	--	--	--	--

1967	C ₁	C ₂	C	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇
VAG51	0,01268	-1,45074	6,25843	0,17416	0,49518	-0,08692	0,00454	--	--	--	--
VAG52	0,03862	-0,99647	4,03854	-0,00193	0,75121	-0,17570	0,01562	-0,000454	--	--	--
VAG53	0,00123	-0,97027	4,03854	-0,00193	0,75121	-0,17570	0,01562	-0,002098	5,996×10 ⁻⁵	-6,669×10 ⁻⁷	--
VAG54	0,01989	-1,04187	4,61712	0,57780	0,23493	-0,03699	0,00169	--	--	--	--
VAG55	0,00177	-1,33067	7,05588	1,29870	-0,14802	0,02175	-0,00096	--	--	--	--
VAG56	0,00041	-0,94283	6,41551	-0,62601	0,62021	-0,06941	0,00232	--	--	--	--

TABLEAU VII
Coefficients multiplicatifs des hauteurs de vague

Mois Station	JUIN	JUILLET	AOUT	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
VAG31	0,81	0,87	0,83	1,47	1,49	1,11
VAG32	0,51	0,55	0,58	0,96	0,88	0,70
VAG33	0,84	0,90	0,90	1,19	1,13	0,92
VAG34	0,52	0,75	0,69	0,97	1,07	0,89
VAG51	0,54	0,51	0,61	1,09	1,33	0,96
VAG52	0,56	0,56	0,72	1,04	1,06	1,46
VAG53	0,54	0,54	0,74	1,07	1,34	1,23
VAG54	0,58	0,71	0,73	1,22	1,60	1,05
VAG55	0,47	0,65	0,79	0,99	1,30	0,87
VAG56	0,56	0,54	0,57	0,94	1,16	1,04

BATH, M., 1974. Spectral Analysis in Geophysics. Developments in Solid, Earth Geophysics, tome 7, Elsevier, 563 p.

BENDAT, J. S. and A. G. PIERSOL, 1971. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. — John Wiley and Sons, 407 p.

BOYER, J. D., Y. OUELLET, et J. LLAMAS, 1975. Complément et analyse statistique d'enregistrements des hauteurs de vagues dans le golfe du Saint-Laurent. — Rapport GCS-75-12-07, Département de génie civil, Université Laval, 368 p.

COOLEY, J. W. and J. W. TUKEY, 1965. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. — Maths Comput., Vol. 19, pp. 297-301.

IBM APPLICATION PROGRAM, 1967. System/360 Scientific Subroutine Package. Version III, Programmer's Manual, 329 p.

JASPER, N. H., 1956. Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and of Wave-Induced

Ship Stresses and Motions, with Engineering Applications. — Trans. Soc. nav. Archit. mar. Engrs, Vol. 64, New York.

JENKINS, G. M. and D. G. WATTS, 1969. Spectral Analysis and its Applications, — Holden-Day, San Francisco, Californie, 525 p.

METEOROLOGICAL BRANCH, Air Services. The Climate of Canada. — Department of Transport, Toronto, Ontario, 74 p.

PLOEG, J. and G. W. T. ASHE, 1971. Wave Climate Study — Great Lakes and Gulf of St. Lawrence. Volumes 1 et 2, Division du Génie mécanique, Conseil national de recherche du Canada, Ottawa, 164 p. et 253 p.

ROTH, P. P., 1970. Digital Fourier Analysis. — Hewlett-Packard Journal, June 1970, pp. 1-9.

YEVJEVICH, V., 1972. Stochastic Processes in Hydrology. — Wat. Resour. Publs, Fort Collins, Colorado, U.S.A., 276 p.

ACIDES GRAS ET HYDROCARBURES DE L'ÉCUME MARINE ET DE LA MICROCOUCHE DE SURFACE

J. C. MARTY¹ et A. CHOINIÈRE

Département d'océanographie
Université du Québec à Rimouski, 300 avenue des Ursulines,
Rimouski, Québec G5L 3A1

Résumé

Nous avons réalisé l'analyse des acides gras et des hydrocarbures (n-alcanes) de l'écume marine et de la microcouche adjacente prélevées dans la zone de rencontre du Saguenay et du Saint-Laurent. Les teneurs observées pour la microcouche varient de 8 à 25 $\mu\text{g/l}$ pour les acides gras, de 0,5 à 1,8 $\mu\text{g/l}$ pour les n-alcanes. La microcouche est enrichie par rapport à l'eau sous-jacente en acides gras (facteur d'enrichissement f moyen = 1,6) et en n-alcanes dissous (f moyen = 2,4) mais pas en alcanes particuliers. L'effet de l'activité biologique sur la composition de l'écume marine et du film est mis en évidence. Pour un échantillon d'écume, la contribution des n-alcanes d'origine terrestre est très importante. Au vu du contenu en acides gras de l'écume marine et de la microcouche, il semblerait que l'écume soit formée essentiellement par accumulation de la fraction particulaire de la microcouche adjacente.

Abstract

Sea foam and surface microlayer (0.44 mm thick) have been collected in the St. Lawrence estuary, near the mouth of the Saguenay River. Fatty acids and hydrocarbons (n-alkanes) have been analysed. Microlayer content varies from 8 to 25 $\mu\text{g/l}$ for fatty acids, 0.5 to 1.8 $\mu\text{g/l}$ for n-alkanes. Surface microlayer is enriched with respect to underlying water in fatty acids and dissolved n-alkanes (mean enrichment factor respectively 1.6 and 2.4) but not in particulate alkanes. We note the effect of biological activity on the composition of foam and microlayer. For one sample, the contribution of n-alkanes of terrestrial origin is very important. Owing to the fatty acid composition of foam and surface microlayer, it seems likely that sea foam is formed by accumulation of the adjacent microlayer particulate fraction.

Introduction

L'écume marine est produite par divers processus: cellules de circulation de Langmuir, convergences de masses d'eaux de salinités différentes (fronts océaniques) brassage de l'eau pendant les tempêtes... Cette écume a fait l'objet de curiosité et d'étude depuis Pope (1952) et Abe (1953), et plus récemment Szekiela *et al.*, (1972) et Baier *et al.*, (1972). Il a été suggéré par divers auteurs (Szekiela *et al.*, 1972, Sundby et Bewers, 1975) que l'écume est formée par le rassemblement et le compactage de la microcouche de surface adjacente. Ainsi, la composition de l'écume (un matériel disponible en quantités abondantes dans certaines conditions) refléterait fidèlement la composition du film de surface, non dilué par l'eau sous jacente.

Nous présentons, dans ce qui suit, des résultats originaux sur la composition de l'écume marine en acides gras et en hydrocarbures. Le but de ce travail est la vérification de l'hypothèse selon laquelle l'écume marine représente l'accumulation de la microcouche de surface adjacente, par comparaison du contenu en acides gras et en hydrocarbures de l'écume, de la microcouche et de l'eau sous jacente.

Matériel et méthodes

SITE DE PRÉLÈVEMENT

Les prélèvements ont été effectués au confluent de la rivière Saguenay et du Saint-Laurent. (48°08' Nord 69°40' Ouest). L'écume accumulée à la rencontre de ces deux mas-

¹ Adresse actuelle: Laboratoire de physique et chimie marines, Université P. et M. Curie T 24, 4 Place Jussieu 75230, Paris Cedex 05, France.

ses d'eaux forme des lignes facilement observables à partir de deux heures avant la marée haute et jusqu'à deux ou trois heures après (Sundby et Bewers, 1975). Trois séries de prélèvements ont été effectués: le 16 novembre 1974, le 26 juin 1975 et le 23 août 1975. Pour chaque série de prélèvements nous avons collecté l'écume, la microcouche de surface adjacente et, en juin et en août, un échantillon d'eau sous-jacente.

ÉCHANTILLONNAGE

Les prélèvements sont effectués à bord d'une embarcation de type «zodiac». L'échantillonnage de l'écume est réalisé à l'aide d'un filet en nylon (63 μm de vide de maille) tendu sur un cadre de bois de dimensions 60 \times 45 cm. L'opérateur se tient à l'avant du bateau afin d'éviter la contamination due au moteur et recueille l'écume sur le cadre qu'il tient à bout de bras. L'écume forme une émulsion très stable, ayant l'aspect et la consistance de la «mousse à raser», et on ne constate aucune perte d'eau par drainage à travers le filet. L'écume amassée sur le filet est raclée à l'aide d'une plaque de verre rincée au chloroforme et transférée dans un bocal en verre. On ajoute du chloroforme distillé dans le bocal afin, d'une part de briser en partie l'émulsion et d'autre part de stopper toute activité biologique. La microcouche de surface (20 litres environ) est prélevée à l'aide d'un tamis en acier inoxydable dont les caractéristiques sont décrites par Marty (1974). Ce tamis prélève une couche de 0,44 mm d'épaisseur. L'eau sous-jacente est prélevée au seau (20 litres). Les échantillons de la microcouche et de l'eau sous-jacente sont conservés dans des bonbonnes en verre en vue de leur filtration et extraction au laboratoire. Les prélèvements de juin et août furent extraits dès le retour au laboratoire. Les échantillons de novembre 1974 n'ayant pu être analysés que 15 jours après le prélèvement, sont conservés à l'abri de la lumière et à 2°C après leur avoir ajouté environ 1g de chlorure mercurique pour stopper l'action biologique.

SÉPARATIONS CHIMIQUES ET ANALYSE

Les échantillons d'eau (microcouche et eau sous-jacente) sont filtrés sur filtres en fibre de verre Whatman GF/C. Les lipides dissous sont extraits de l'eau filtrée par le chloroforme. Les lipides particuliers sont extraits des filtres par le mélange méthanol-benzène au soxhlet. L'écume est extraite par le chloroforme dans des ampoules à

décantier. À l'interface eau-solvant il se forme une émulsion très stable (signalée par Saliot, 1975 pour l'eau) qui n'est pas incorporée à l'extrait. Les extraits chloroformiques sont séchés sur chlorure de calcium, filtrés et évaporés à sec à 35°C à l'aide d'un évaporateur rotatif «Büchi». Les extraits obtenus sont ensuite séparés par une procédure déjà décrite par Marty et Saliot (1974, 1976). Les acides gras de 10 à 22 atomes de carbone sont analysés par chromatographie en phase gazeuse avant et après hydrogénation. Un appareil Perkin Elmer 900 équipé de colonnes en acier inoxydable de 1,83 m de long et 3,2 mm de diamètre intérieur, remplies de 10% DEGS sur chromosorb WHP 100-120 mesh est utilisé pour cette analyse. La température est maintenue constante à 170°C pendant 12 min. puis élevée jusqu'à 200°C à raison de 3°C par minute. Les n-alcane sont analysés sur appareil Girdel 3 000 équipé d'une colonne de 4 m de long de 3,2 mm de diamètre intérieur remplie de 1% Dexsil sur gas. chrom. Q. 80-100 mesh; la température est programmée de 140 à 320°C à raison de 6°C/min. Les pics sont authentifiés et quantifiés par comparaison des temps de rétention et mesure des aires d'étalons.

Résultats

Les résultats concernant les acides gras sont présentés dans le tableau I. Les teneurs globales observées pour la microcouche sont du même ordre de grandeur que celles rapportées par Marty et Saliot (1976) et Dumas *et al.*, (1976) pour des eaux côtières «pauvres». On constate que les acides gras dissous et particuliers sont accumulés dans la microcouche de surface par rapport à l'eau sous-jacente (facteur d'enrichissement f moyen = 1,6).

Les teneurs globales en n-alcane observées pour la microcouche et l'eau sous-jacente (0,14 à 1,60 $\mu\text{g/l}$) (tableau II) sont dans les mêmes gammes que celles rapportées par Iliffe et Calder (1974), Wade et Quinn (1975), Marty et Saliot (1976) et Dumas *et al.*, (1976). Levy et Walton (1973) ont également trouvé des teneurs comparables pour des eaux du golfe du Saint-Laurent. La microcouche est enrichie en n-alcane dissous par rapport à l'eau sous-jacente (facteur d'enrichissement moyen 2,4); mais, par contre, elle n'est pas enrichie en n-alcane particuliers.

L'erreur relative (en tenant compte des incertitudes de l'extraction, des différentes

TABLEAU I

Teneurs en acides gras de l'écume, de la microcouche et de l'eau sous-jacente (E.S.J.) pour les prélèvements de novembre 1974, juin et août 1975. partic. = particulière N.I. = non identifiés

Acide	Prélèvement de novembre 1974					Prélèvement de juin 1975				Prélèvement août 1975		
	Écume %	Microcouche		E.S.J.		Écume %	Microcouche		E.S.J. %	Écume %	Microcouche	
		dissous %	partic. %	dissous %	partic. %		dissous %	partic. %			dissous %	partic. %
C ₁₀		7,1							2,4		3,6	
C ₁₂	2,2	26,4	3,9	9,2	2,7	1,9	6,2	2,3	12,1	2,7	11,1	1,9
C ₁₄	8,4	28,6	8,6	16,2	8,1	7,5	14,7	6,9	12,9	19,9	14,4	8,7
C ₁₅		4,1	3,6	3,5	2,7		5,3	2,3	4,0		2,7	1,6
C ₁₆	20,5	13,6	31,5	27,9	26,4	29,6	29,8	24,0	28,2	19,0	15,9	34,1
C _{16:1}	7,4	2,1	10,1	8,8	13,9	5,6	10,2	9,0	5,6	7,3	9,8	12,0
C ₁₇	6,0	0,2	1,6	1,3	0,8				8,9			
C ₁₈	13,9	2,9	11,3	13,2	8,5	3,9	5,3	5,8	7,3	3,6	3,1	5,7
C _{18:1}	14,5	2,4	16,0	5,9	19,4	20,2	8,9	28,9	5,6	22,9	7,0	19,6
C ₁₉		0,2	0,7	0,5	0,6	4,3			2,4			
C _{18:2}	4,5	1,3	2,6	1,8	3,4	17,9	1,8	4,4		14,5	8,6	4,9
C ₂₀	6,6	0,4	0,7	0,8	1,1	1,0	6,7	4,1	4,8	0,9	1,9	1,6
C _{18:3}	5,1	0,5	0,2	0,6	0,5	6,7		2,1		9,2	11,6	2,4
C ₂₂	8,1	1,0	1,3	1,7	0,3	0,3		2,8	3,2			0,5
N.I.	2,8	9,0	7,8	9,3	11,7	1,1	11,1	7,4	2,4		10,3	6,8
CONCENTRATION TOTALE µg/l		11,87	13,52	9,77	7,89		2,25	5,67	1,24		5,84	3,67

TABLEAU II

Composition en n-alcanes de l'écume, de la microcouche (Tamis) et de l'eau sous-jacente (ESJ), diss. : dissous; part. : particulière; conc. : concentration.

Alcane	Prélèvement de novembre 1974					Prélèvement de juin 1975					Prélèvement d'août 1975		
	Écume %	Tamis		E.S.J.		Écume %	Tamis		E.S.J.		Écume %	Tamis	
		diss. %	part. %	diss. %	part. %		diss. %	part. %	diss. %	part. %		diss. %	part. %
C ₁₄		1		1					3				
C ₁₅		2	3	3	2		1		1				
C ₁₆		3	3	10	6		7	2	5	1	1	6	1
C ₁₇		8	10	13	15		7	4	12	2	20	13	4
C ₁₈		5	8	10	10		16	15	24	4	15	48	6
C ₁₉	2	2	7	3	5	1	3	3	3	1	9	2	4
C ₂₀	4	2	2	3	4	1	8	2	9	3	7	5	4
C ₂₁	2	1	1		2	2	1	1	1	1	9		7
C ₂₂	7	2	3	1	4	2	9	4	3	6	5	1	7
C ₂₃	7	2	3		4	10	4	9	2	10	7	3	13
C ₂₄	9	3	6	3	7	9	9	7	6	10	7	4	7
C ₂₅	13	3	7	2	6	22	4	5	2	4	9	1	5
C ₂₆	13	4	5	2	5	9	4	5	4	5	5	3	5
C ₂₇	11	5	8	2	5	27	8	10	7	10	4	3	8
C ₂₈	7	5	5	3	4	2	4	5	3	6	1	3	7
C ₂₉	7	8	7	6	5	8	5	11	5	15		5	8
C ₃₀	7	8	5	7	4		4	8	5	11		3	7
C ₃₁	5	10	6	9	4	4	4	8	4	10		2	5
C ₃₂	5	7	5	6	3		2	1	1	2			2
C ₃₃	2	6	4	5	2		1	1	1	2			
C ₃₄		4	2	3	1								
C ₃₅		4	2	4	1								
C ₃₆		2	1	2									
C ₃₇		2		1									
C ₃₈		1											
conc. totale µg/l		0,38	0,14	0,25	0,14		1,60	0,23	0,52	0,35		0,23	0,50
% n-alcane	8%	10%	5%	13%	6%	31%	5%	10%	8%	8%	9%	11%	7%

Note : La ligne % n-alcane indique le pourcentage que les n-alcanes représentent par rapport à l'ensemble des hydrocarbures.

séparations chimiques, de l'injection en chromatographie...) est estimée à une valeur comprise entre 20 et 25% sur les résultats indiqués.

Discussion

D'une manière générale, les trois échantillons ont une composition en acides gras comparable à celle de la microcouche. On note en effet la prédominance des acides pairs saturés C₁₄, C₁₆ et C₁₈, et insaturés de C₁₆ et C₁₈, tandis que les acides impairs C₁₅, C₁₇ et C₁₉ sont en faible proportion. Cette répartition a été rencontrée par tous les auteurs travaillant sur la microcouche: Garrett 1967, Marty et Saliot, 1974, Larsson *et al.*, 1974, ... On ne retrouve pas, pour les hydrocarbures, de similitude de composition pour les trois prélèvements d'écume. Une telle diversité de composition est très souvent remarquée pour la microcouche (Marty et Saliot, 1976). On peut donc penser, en première approche, que les acides gras de la microcouche et de l'écume ont une ou des origines communes alors que les hydrocarbures ont probablement des origines très diverses.

Les acides gras insaturés C_{18:1}, C_{18:2} et C_{18:3} sont nettement plus abondants dans l'écume d'été que dans l'écume d'automne. Ceci est également constaté pour la microcouche, mais à un degré moindre. Cette importance des acides insaturés est certainement due à une influence biologique. En effet Steven (1974) a montré que la production dans l'estuaire du Saint-Laurent est très forte de la mi-juin jusqu'à septembre et retourne à son niveau hivernal dès octobre. Comme les acides insaturés proviennent en grande partie des blooms planctoniques, l'abondance de ces acides dans les échantillons d'été par rapport à ceux d'automne s'explique par la forte production d'été. Les chromatogrammes obtenus pour le prélèvement d'écume d'automne (novembre 1974) et d'été (août 1975) présentent une répartition régulière des n-alcanes de n-C₁₉ à n-C₃₂ avec un maximum peu marqué en n-C₂₅. Une telle répartition déjà rencontrée par Blumer (1970), Barbier *et al.*, (1973) et Marty et Saliot (1976), est habituellement considérée comme étant caractéristique d'une origine biologique. Toutefois le prélèvement d'août 1975 se distingue de celui de novembre 1974 par la présence d'alcanes légers C₁₇, C₁₈ et C₁₉ en quantités abondantes. La contribution d'organismes

marins ou de fragments d'algues riches en ces composés (Youngblood *et al.*, 1971, Blumer *et al.*, 1971) est probable à cette période de l'année où la production est importante.

L'autre échantillon d'écume d'été (juin 1975) est très particulier en ce qui concerne son contenu en hydrocarbures. En effet, dans le chromatogramme (fig. 1), les alcanes à nombre impair d'atomes de carbone sont très prépondérants sur ceux à nombre pair. Une telle prédominance est habituellement rencontrée dans les végétaux supérieurs terrestres (Douglas et Eglinton, 1966). Pour la microcouche, cette prédominance impaire — paire n'est pas aussi nette, mais reste sensible au niveau des nC₂₇ et nC₂₉. Ainsi il est probable que les hydrocarbures de l'écume du prélèvement II proviennent essentiellement de débris de végétaux terrestres.

Si nous établissons un parallèle entre la composition de l'écume et de la microcouche en acides gras, nous constatons que l'écume semble se rapprocher plus du caractère «particulaire» que du caractère «dissous» de la microcouche. Ceci est surtout visible pour les acides à nombre de carbone inférieur à 16, qui sont en quantité plus importante dans la fraction dissoute que dans la fraction particulaire de la microcouche et dans l'écume. Ce caractère particulaire de l'écume, en ce qui concerne la composition en acide gras, est en accord avec la stratification de la microcouche proposée par Daumas *et al.*, 1976, selon laquelle les particules «flotteraient» à la surface de la microcouche au-dessus d'une couche contenant en abondance les cellules autotrophiques et les éléments dissous. Ainsi, à la rencontre des deux masses d'eau (Saguenay et Saint-Laurent) il y aurait accumulation préférentielle des particules «flottant» à la surface de la microcouche. Simultanément, les éléments dissous seraient entraînés dans l'eau sous-jacente. Si les hydrocarbures ne s'accordent pas parfaitement avec cette hypothèse d'accumulation c'est probablement en raison de leur grande variabilité de composition et concentration rendant l'interprétation impossible sur un nombre restreint de prélèvements.

Au vu de nos résultats, il paraît difficile de penser que l'écume est une «émanation» de la microcouche adjacente, cette dernière étant essentiellement variable et instable. Toutefois, il est certain que de nombreux ca-

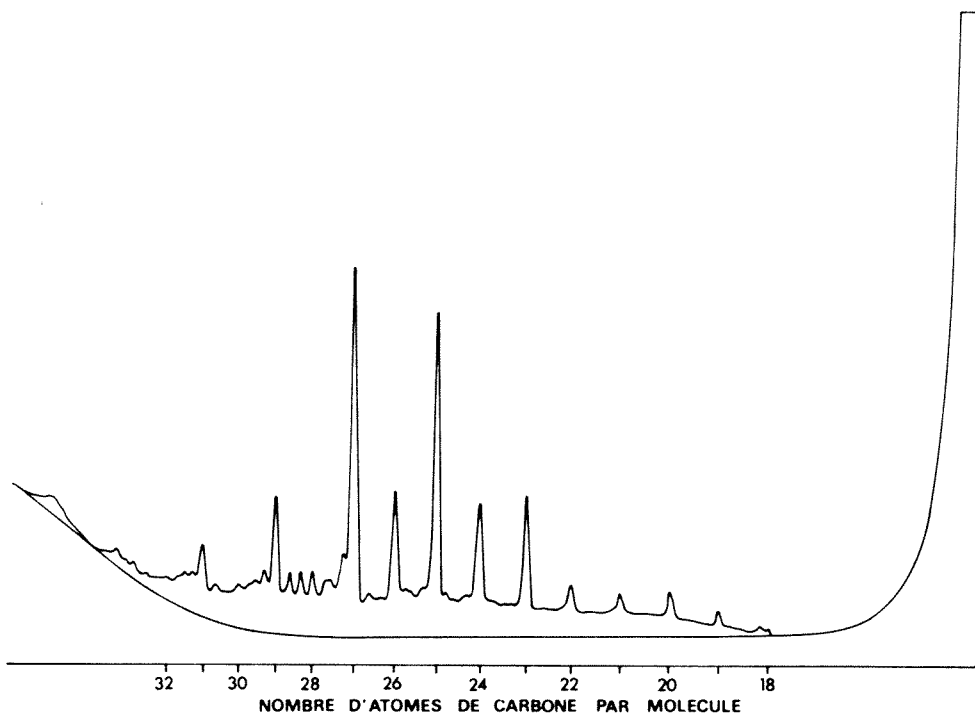


Figure 1. Chromatogramme des hydrocarbures de l'écume du prélèvement de juin 1975.

ractères de la microcouche adjacente sont retrouvés dans l'écume.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Professeur Y. Paquin pour l'intérêt qu'il a manifesté à ce travail tout au long de sa réalisation. Merci au Dr. A. Saliot pour ses avis et suggestions au cours de la préparation du manuscrit.

References

- ABE T., 1953. On the foaming of sea-water and inorganic electrolyte solutions. — *Oceanogr. Rep. C.M.O.*, 3: 1.
- BARBIER, M., D. JOLY, A. SALIOT and D. TOURRES, 1973. Hydrocarbons from sea-water. — *Deep Sea Res.*, 20: 305-314.
- BAIER, R. E., D. W. GOUPIL, S. PERLMUTTER and R. KING, 1974. Dominant chemical composition of sea surface films, natural slicks and foams. — *J. Rech. Atmosph.*, 8: 571-600.
- BLUMER, M., 1970. Dissolved organic compounds in sea-water: saturated and olefinic hydrocarbons and singly branched fatty acids. pp. 153-167. *In*: D. W. Hood (ed.), *Organic matter in natural waters*. Inst. Marine Sci., Univ. Alaska, Publ. N° 1.
- BLUMER, M., R. R. L. GUILLARD, and T. CHASE, 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton. — *Mar. Biol.*, 8: 183-189.
- DAUMAS, R. A., P. L. LABORDE, J. C. MARTY and SALIOT, A. 1976. Influence of sampling method on the chemical composition of water surface film. — *Limnol. Oceanogr.*, 21: 321-328.
- DOUGLAS, A. G. and G. EGLINTON, 1966. *In*: T. Swain (Ed.) *Comparative phytochemistry*. Ademic Press, p. 57-77.
- GARRETT W. D., 1967. The organic chemical composition of the ocean surface. — *Deep Sea Res.*, 14: 221-227.
- ILIFFE, T. M. and J. A. CALDER, 1974. Dissolved hydrocarbons in the eastern gulf of Mexico loop current and the Carribean sea. — *Deep Sea Res.*, 21: 481-488.
- LARSSON, K., G. ODHAM and A. SODERGREN, 1974. On lipid surface films on the sea. I. A simple method for sampling and studies of composition. — *Mar. Chem.*, 2: 49-57.
- LEVY, E. M. and A. WALTON, 1973. Dispersed and particulate petroleum residues in the gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 261-267.

- MARTY, J. C., 1974. Contribution à l'étude de la pellicule ultrasuperficielle des océans : atténuation de l'ultraviolet, composition en acides gras et en hydrocarbures. — Thèse, Paris, 77 p.
- MARTY, J. C. et A. SALIOT, 1974. Étude chimique comparée du film de surface et de l'eau de mer sous-jacente: acides gras. — J. Rech. Atmosph., 8: 563-570.
- MARTY, J. C. and A. SALIOT, 1976. Hydrocarbons (normal alkanes) in the surface microlayer of seawater. — Deep Sea Res., 23: 863-873.
- POPE, E. C., 1952. Sea foam, an unsolved problem of the sea shore. — Australian Museum Mag., 10: 365-368.
- SALIOT, A., 1975. Acides gras, stéroïdes et hydrocarbures en milieu marin: inventaire, applications géochimiques et biologiques. — Thèse Doctorat d'État, Paris 167 p.
- STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the gulf of St. Lawrence Rep. N° 26. — McGill University, Montreal.
- SUNDBY, B. and J. M., BEWERS, 1975. Oceanic fronts. — Geos. : 15-17.
- SZEKIELDA, K. H., S. L. KUPFERMAN, V. KLEMAS and D. F. POLIS, 1972. Element enrichment in organic films and foam associated with aquatic frontal systems. — J. Geophys. Res., 77: 5278-5282.
- WADE, T. L. and J. G. QUINN, 1975. Hydrocarbons in the Sargasso sea surface microlayer. — Mar. Poll. Bull., 6: 54-57.
- YOUNGBLOOD, W. W., M. BLUMER, R. L. GUIL-LARD and F. FIORE, 1971. Saturated and unsaturated hydrocarbons in marine benthic algae. — Mar. Biol., 8: 190-201.

THE BEHAVIOR OF TRACE METALS IN ESTUARIES OF THE ST. LAWRENCE BASIN

J. M. BEWERS and P. A. YEATS

*Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography
Dartmouth, Nova Scotia*

Résumé

On discute de la distribution du fer, du manganèse, du cobalt, du nickel, du cuivre, du zinc et du cadmium dans l'estuaire du Saint-Laurent et dans le fjord du Saguenay. La distribution du fer dissous dans les régimes de faible salinité des deux estuaires renforce l'idée voulant que la précipitation du fer se produise dans toutes les eaux d'estuaire. Par contre, le manganèse dissous, qui est précipité de façon analogue dans le fjord du Saguenay, semble se produire dans les eaux de l'estuaire du Saint-Laurent. La zone de turbidité maximale influe beaucoup sur la distribution totale du fer, du manganèse et du cobalt. Ce sont les eaux superficielles de l'extrémité amont de cette zone, plutôt que les eaux douces du fleuve Saint-Laurent, qui constituent la zone limite où ces métaux se mélangent. La couche profonde du fjord du Saguenay et les eaux situées près du fond du bas estuaire du Saint-Laurent présentent des concentrations plus élevées de certains métaux, concentrations qu'on ne peut attribuer au niveau plus élevé de matière en suspension dans les couches néphéloïdes du fond de ces bassins. Il semble que le manganèse soit dégagé des sédiments sous-jacents par diagénèse, et qu'il soit possible aussi que du zinc et du cadmium soient dégagés.

Abstract

The distributions of iron, manganese, cobalt, nickel, copper, zinc and cadmium in the St. Lawrence estuary and the Saguenay Fjord are discussed. The distributions of dissolved iron in the low salinity regimes of both estuaries support the view that precipitation of iron from solution in estuarine waters is a universal process. In contrast, dissolved manganese, whilst exhibiting similar precipitation in the Saguenay Fjord, appears to be produced in the waters of the St. Lawrence estuary. The turbidity maximum of the St. Lawrence estuary has a profound influence upon the distributions of total iron, manganese and cobalt. Surface water at the upstream end of the turbidity maximum acts as the end-member for mixing for these metals rather than the fresh St. Lawrence River water. The deep layer of the Saguenay Fjord and the near-bottom waters of the lower St. Lawrence estuary show increased concentrations of some metals which cannot be attributed to the increased levels of suspended matter in the bottom nepheloid layers of these basins. Manganese appears to be released from the underlying sediments through diagenesis and similar releases of zinc and cadmium may also occur.

Introduction

Estuaries are of particular interest in the study of trace metal geochemistry, since, by definition (Pritchard, 1967), they are zones of mixing between fresh and saline waters. The primary goals of marine chemical studies in estuaries have been the delineation of the types, rates and magnitudes of chemical processes that control the behaviour of constituents when waters of different chemical character mix. However, the nature of water circulation and mixing and of sedi-

ment transport in estuaries complicates the study of purely chemical processes. Thus a basic understanding of the physical oceanography and the behavior of particulate material becomes an essential pre-requisite to the examination and interpretation of metal distributions in particular estuaries. A major potential benefit of estuarine studies will result from the ability to differentiate between the total efflux of material from rivers and the *net* influxes of riverborne material to the deep ocean. Furthermore an

understanding of metal behaviour in the nearshore zone provides the opportunity to assess the impact of anthropogenic releases of metals to rivers upon the local and global marine environments.

A great deal of attention (Head and Burton, 1970; Coonley *et al.*, 1971; Boyle *et al.*, 1974, 1977; Abdullah and Royle, 1974; Eisma, 1975; Holliday and Liss, 1976; Evans *et al.*, 1977) has been paid to the relationships between metals, particularly iron, and salinity in estuaries. There appears to be a consensus that the distribution of dissolved (filtered) iron deviates from a conservative mixing relationship. Significant proportions of the inflowing iron are removed to particulate forms especially at salinities of less than 15‰. In contrast molybdenum has been shown to exhibit conservative behaviour in at least one estuary (Head and Burton, 1970), and dissolved manganese (Evans *et al.*, 1977) appears to be produced in estuaries giving rise to a non-conservative mixing relationship of opposite curvature to that for iron. Flux calculations have been made by Windom *et al.* (1971) and Elderfield and Hepworth (1975) with the former authors concluding that the seaward fluxes of many trace metals from three eastern U.S. estuaries are insufficient to account for the proportion of oceanic sedimentation expected on the basis of drainage basin size.

Studies of the trace metal distributions in the Gulf of St. Lawrence (Bewers *et al.*, 1974) revealed that the character of the waters of the Gulf is similar to that of the adjacent North Atlantic. They also served to show that the concentration ranges of iron, nickel, copper and zinc are generally relatively narrow although higher concentrations were encountered in the outflowing estuarine waters i.e. the Gaspé Current. It was therefore evident that large variations in metal concentrations, typical of estuarine environments, would only be found west of Pointe-des-Monts in the truly estuarine part of the system. Additional measurements within the waters of the Gulf have confirmed that, despite the lower salinity conditions existing there, the trace metal composition of the waters is similar to that found on continental shelves and that only in outflowing estuarine water are the concentrations elevated to any significant extent (Yeats *et al.*, 1978a).

This paper described the general behaviour of iron, manganese, cobalt, nickel, copper, zinc and cadmium in the upper and

lower St. Lawrence estuaries and the Saguenay Fjord. It is based upon the presentation and interpretations of new data from the lower St. Lawrence estuary and the re-evaluation of two earlier papers (Yeats and Bewers, 1976; Bewers and Yeats, 1978) which discuss the distributions and behaviour of metals in the Saguenay Fjord and the upper St. Lawrence estuary respectively. The Fjord and the two major divisions of the St. Lawrence estuary provide three distinctly different bathymetric and oceanographic regimes in which the behaviour of the trace metals can be compared.

The Saguenay Fjord is a long (93 km), narrow (1-6 km) submarine valley incised into the crystalline rocks of the Canadian Shield. There exists a 20 m deep sill at its mouth and a further, broader, 70 m deep sill about 18 km west of the mouth. The eastern (outer) basin between these sills has a maximum depth of 250 m while the larger western (inner) basin is 275 m deep throughout most of its length. Approximately 90% of the freshwater input enters the head of the Fjord from the Saguenay River which discharges $4.6 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$ of water annually. The average monthly discharges of the river range from $1 \cdot 100 \text{ m}^3/\text{s}$ to $2 \cdot 200 \text{ m}^3/\text{s}$ with the maximum flow occurring in May during the spring freshet. The mixed surface layer is relatively thin (<25 m) and progressively increases in salinity from the head to the mouth of the Fjord. The underlying deep water is highly stratified, as in the cases of other "fjord-type" estuaries (Dyer, 1973). However, internal mixing, especially in the outer basin, appears to be considerably more intense than in similar fjords (Seibert *et al.*, 1979). Thus the strength of the compensating counter-current near the surface, which is typical of other fjords, is reduced. Another consequence of the relatively intense vertical mixing is that the frequency of intrusions, and thereby the replacement of Saguenay deep water, appears to be high and prevents the bottom waters from becoming anoxic (Taylor, 1975).

The St. Lawrence estuary is commonly subdivided into its upper and lower regions by a transverse section at Tadoussac at the mouth of the Saguenay Fjord. This is a convenient way in which to bisect the estuary since the bathymetry and water circulation differ markedly in the two halves. The upper estuary increases in width from 2 km at Québec City to 24 km at Tadoussac. Its bathymetry (Fig. 1) reveals a channel on the

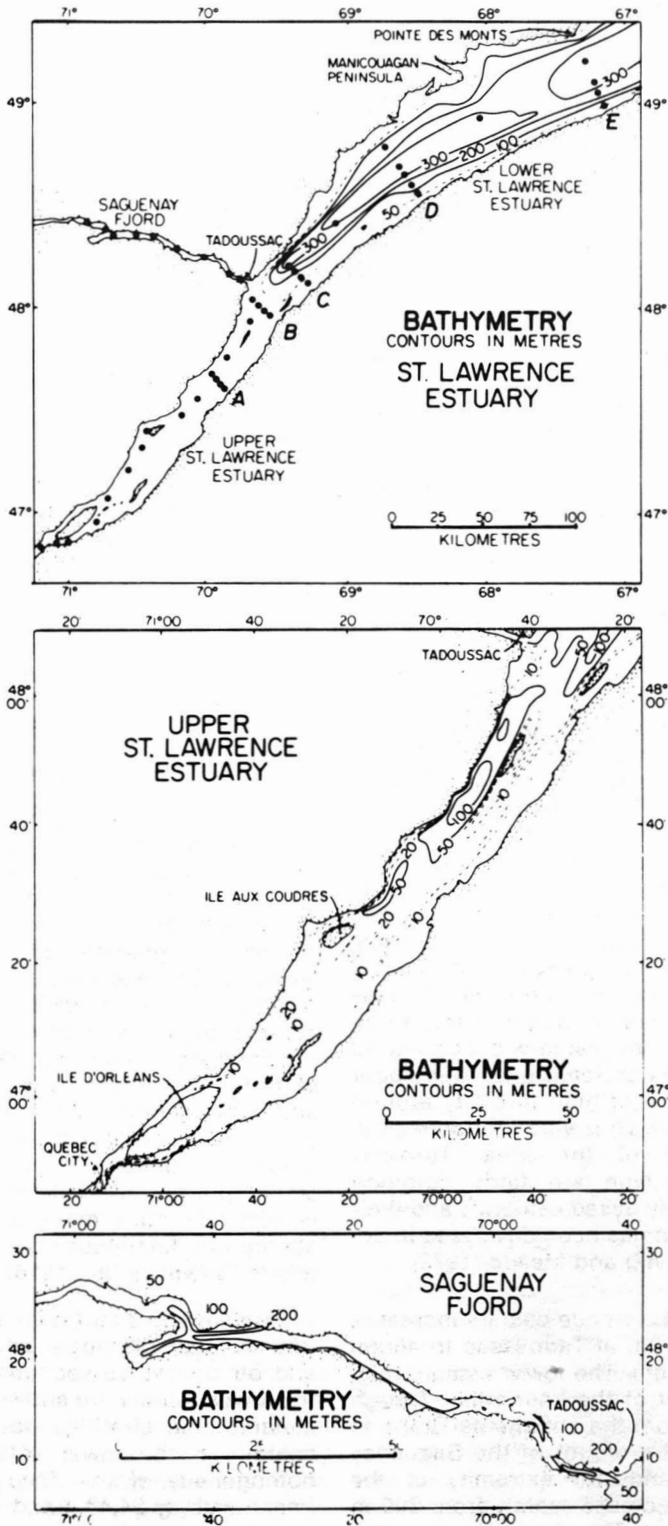


Figure 1. Maps of the estuaries showing bathymetry and station locations.

north side throughout most of its length and a shallow plateau occupying the southern two-thirds of the estuary. The southern shallows contain small depressions or channels separated from the northern channel by flats that are in some cases exposed at low tide. The southern channels are not, however, continuous and no navigable waterway exists which traverses the entire estuary. The maximum depth increases from about 10 m in the shoals near Île d'Orléans to 120 m in the relatively deep basin at the northeastern extremity of the upper estuary. The major contributor of fresh water to the upper estuary is the St. Lawrence River, with a flow varying typically between 10 000 and 20 000 m³/s. No major rivers enter the system from either lateral shore. The extent of mixing in the estuary varies from nearly vertically homogeneous at the head of the estuary to moderately well stratified at the eastern end. Indeed the stratification within the eastern basin bears some similarity to a "fjord-type" system (Dyer, 1973). The upstream limit of salt intrusion occurs between Québec City and the eastern end of Île d'Orléans depending upon river flow. Due to bathymetric, inertial and geostrophic influences the upper estuary is also horizontally stratified with fresher water predominating on the south side. The entrance to the river is so located that during ebb tide the main stream of fresh water flows across the southern flats while the compensating flow of salt water is concentrated in the north channel. The character of the circulation remains unchanged with changing freshwater flow but displacement during tidal cycles creates a cyclonic circulation throughout the entire upper section of the estuary according to Neu (1964). A major feature of the upper estuary is the zone of high turbidity around Île aux Coudres which is very pronounced in satellite imagery of the area. Turbidity maxima of this type are fairly common features of partially mixed estuaries and their mode of formation has been discussed in detail by Postma (1967) and Meade (1972).

The lower St. Lawrence estuary increases in width from 24 km at Tadoussac to 46 km at Pointe-des-Monts. The lower estuary (Fig. 1) comprises part of the Laurentian Trough which extends from the continental slope to within 5 km of the mouth of the Saguenay Fjord. At the landward extremity of the Trough depths decrease rapidly from 300 m to less than 50 m. The deep water of the lower estuary is well stratified throughout

and the mixed outflowing water, which ultimately forms the Gaspé Current, is confined to a wedge on the south side of the estuary that extends approximately halfway across the transverse section at Pointe-des-Monts. The salinity of the deep water in the Laurentian Trough has a maximum of 34.6‰ throughout the Gulf (Trites, 1972). The deep water in the lower estuary has a slightly lower salinity ($34.4 \pm 0.1\%$) than this maximum and a distinct nepheloid layer exists in the bottom 75 m of the water column. The deep water is believed to flow sluggishly landward and nutrient distributions (Coote and Hiltz, 1975) show evidence of upwelling at the end of the Trough. In addition to the low salinity flows from the upper St. Lawrence estuary and the Saguenay Fjord, major inflows of freshwater occur on the north shore in the vicinity of the Manicouagan Peninsula. The water from the rivers entering the estuary in this region appears to flow across the estuary and becomes mixed with the low salinity outflow on the south side. The north side of the estuary is occupied by higher salinity surface water with net landward flow.

Results

The trace metal distributions in the lower St. Lawrence estuary have been determined through measurements of total iron, manganese, cobalt, nickel, copper, zinc and cadmium and dissolved iron and manganese on one longitudinal and three transverse sections. Samples were collected on Bedford Institute cruise 74-006 in May 1974 at the stations depicted in figure 1. Samples were obtained from water depths of 1, 10, 25, 50, 100 and 150 metres and on deep stations additional samples were collected at 5, 15, 30, 50, 100 and 200 metres above the sediments with the aid of a pinger and a precision depth recorder. Methods of sample collection and trace metal analysis by atomic absorption techniques are described elsewhere (Bewers *et al.*, 1976).

The salinity distributions on an axial section through the upper and lower estuaries and on transverse sections at either end of the lower estuary are shown in figure 2. They illustrate the stratified nature of the water column in the lower estuary, the relative homogeneity of the deep (>200 m) water (mean salinity 34.4‰) and the wedge of low salinity water flowing seaward along the south shore. This wedge occupied a larger

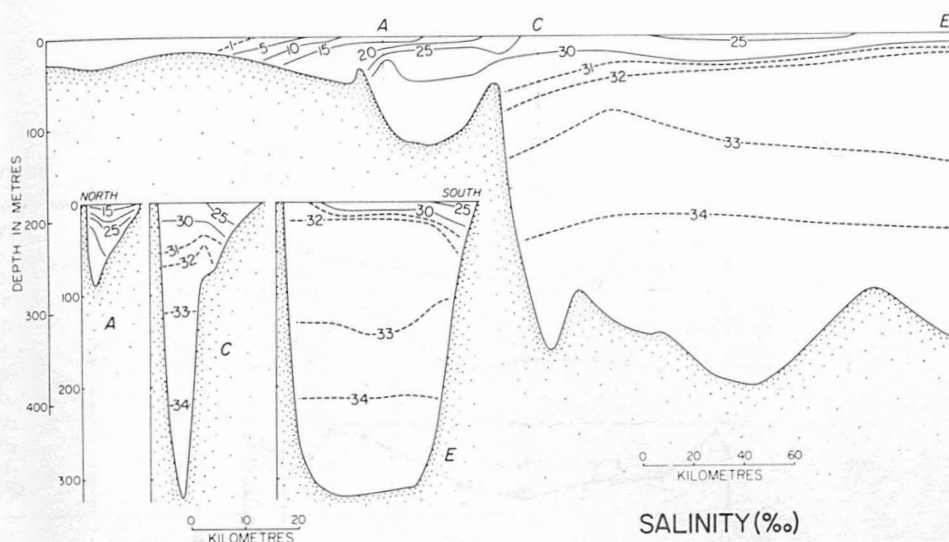


Figure 2. Axial and transverse sections of salinity and in the St. Lawrence estuary.

proportion of the cross section at the upstream end of the estuary than it does at the seaward end. The depression in surface salinity that occurs in the centre of the axial section may be due to the influence of the freshwater inflow from rivers entering the north side of the estuary in the vicinity of the Manicouagan peninsula.

The distributions of the metals in the lower estuary show systematic features that are best illustrated by vertical profiles. Figure 3 shows composite depth profiles of suspended particulate matter and each metal at stations on the axial section. These profiles are based upon the combination of data from five stations sampled during May 1974. The error bars represent the standard deviations of concentration at each depth sampled on some or all these stations. The concentrations of all the metals and suspended matter are higher in the surface waters than at intermediate depths. The most pronounced enrichments occur for total iron and copper. The profiles also suggest that elevated concentrations in the bottom 50 m of the water column occur for all elements except dissolved iron and total cobalt. For most metals, the significance and extent of the near-bottom increases are not clearly defined by these profiles. We have, therefore, in table 1, calculated the population characteristics of the surface, intermediate and deep waters (Fig. 3) for all the metals. Table

II indicates those cases in which the differences between the metal populations in the three layers are significant.

Total iron (Fe_t) has by far the greatest variability in the system and shows distinct horizontal and vertical gradients. The Fe_t distributions on the axial section through the St. Lawrence estuary and on the three transverse sections are shown in figure 4. The surface (1 metre depth) distribution of Fe_t in the St. Lawrence estuary and the Saguenay Fjord is shown in figure 5. These two figures illustrate the high Fe_t concentration in the turbidity maximum of the upper estuary and the decrease in concentration at all depths downstream of this region. The extent of the bottom nepheloid layer is illustrated by the increased concentration of Fe_t in the bottom waters throughout the lower estuary. The high Fe_t concentrations in the surface layer on the southern side of the lower estuary are due to the less saline seaward moving water in the Gaspé Current. Indeed the extent of the seaward moving water is more clearly defined in this region by its Fe_t character than by its salinity. The low salinity region in the surface waters towards the north shore in the middle of the estuary is also typified by elevated Fe_t concentrations. The commonality of these features reinforce the view that the effects are due to the discharge of the Bersimis, Outardes and Manicouagan rivers, having

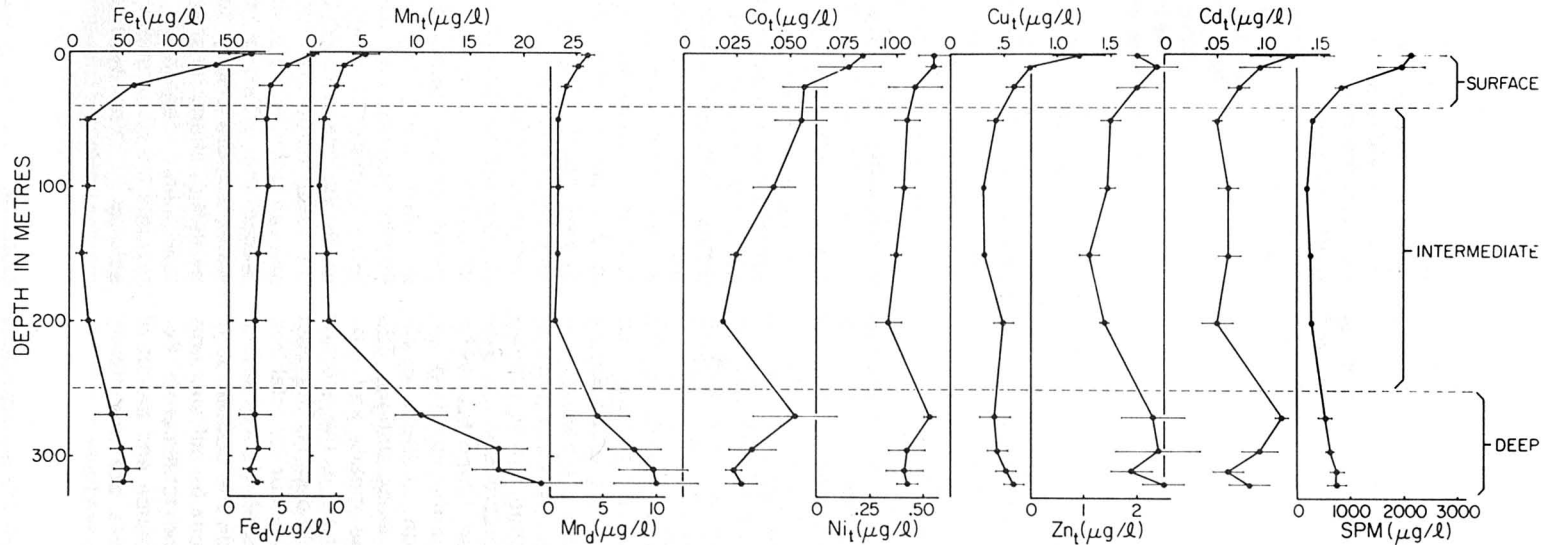


Figure 3. Composite vertical profiles of SPM and metals from five axial stations in the lower estuary. Error bars signify \pm one standard deviation.

TABLE I

Trace metal concentrations ($\mu\text{g/l}$) in the lower St. Lawrence estuary.
Mean \pm standard deviation (number of samples)

Elements	Surface water ≤ 25 m	Intermediate water	Deep water
Fe _t	128 \pm 79 (19)	17,1 \pm 10,9 (22)	50,6 \pm 20,4 (16)
Fe _d	5,5 \pm 2,7 (12)	3,1 \pm 1,7 (15)	2,5 \pm 1,4 (15)
Fe _p	105 \pm 89 (12)	9,7 \pm 7,4 (14)	47,0 \pm 19,1 (15)
Mn _t	3,66 \pm 1,97 (13)	1,29 \pm 1,03 (15)	17,5 \pm 5,9 (11)
Mn _d	2,42 \pm 1,17 (13)	0,66 \pm 0,43 (17)	8,32 \pm 6,57 (16)
Mn _p	1,05 \pm 1,05 (12)	0,73 \pm 0,87 (14)	6,70 \pm 2,62 (10)
Co _t	0,070 \pm 0,021 (11)	0,040 \pm 0,024 (12)	0,033 \pm 0,018 (10)
Ni _t	0,52 \pm 0,17 (14)	0,39 \pm 0,11 (22)	0,45 \pm 0,12 (16)
Cu _t	0,84 \pm 0,43 (18)	0,40 \pm 0,13 (15)	0,50 \pm 0,18 (15)
Zn _t	2,11 \pm 0,81 (16)	1,34 \pm 0,41 (17)	2,29 \pm 1,01 (15)
Cd _t	0,093 \pm 0,050 (15)	0,056 \pm 0,016 (19)	0,085 \pm 0,035 (16)
SPM	1630 \pm 1130 (15)	240 \pm 80 (19)	650 \pm 310 (20)

TABLE II

Probabilities that differences between means in the water masses of the lower Estuary are due to chance

	Fe _t	Fe _d	Fe _p	Mn _t	Mn _d	Mn _p	Co _t	Ni _t	Cu _t	Zn _t	Cd _t	SPM
surface/ intermediate	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	N.S.	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01
surface/deep	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	N.S.	<,01	N.S.	N.S.	<,01
intermediate/ deep	<,01	N.S.	<,01	<,01	<,01	<,01	N.S.	<,2	<,1	<,01	<,01	<,01

N.S. indicates differences that are insignificant at the 80% confidence level.

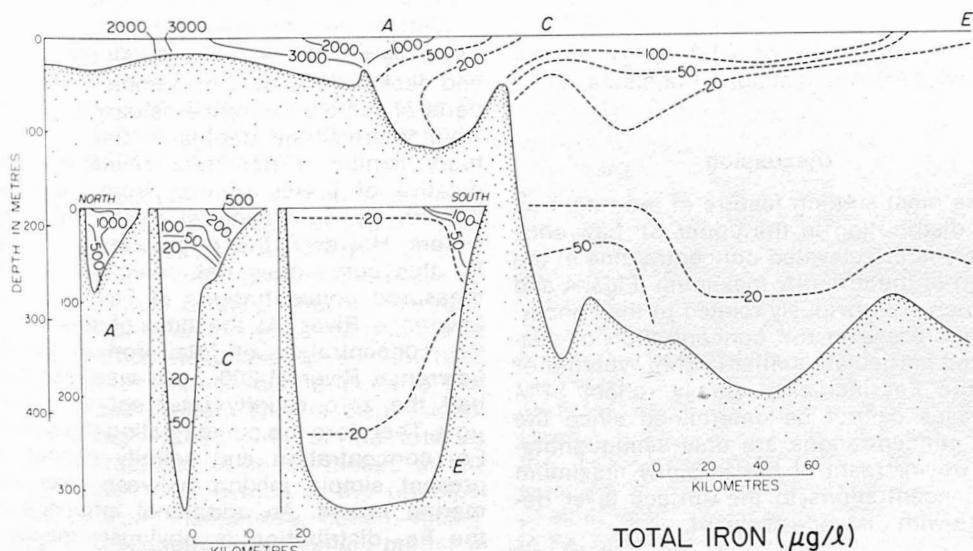


Figure 4. Axial and transverse distributions of total iron in the St. Lawrence estuary.

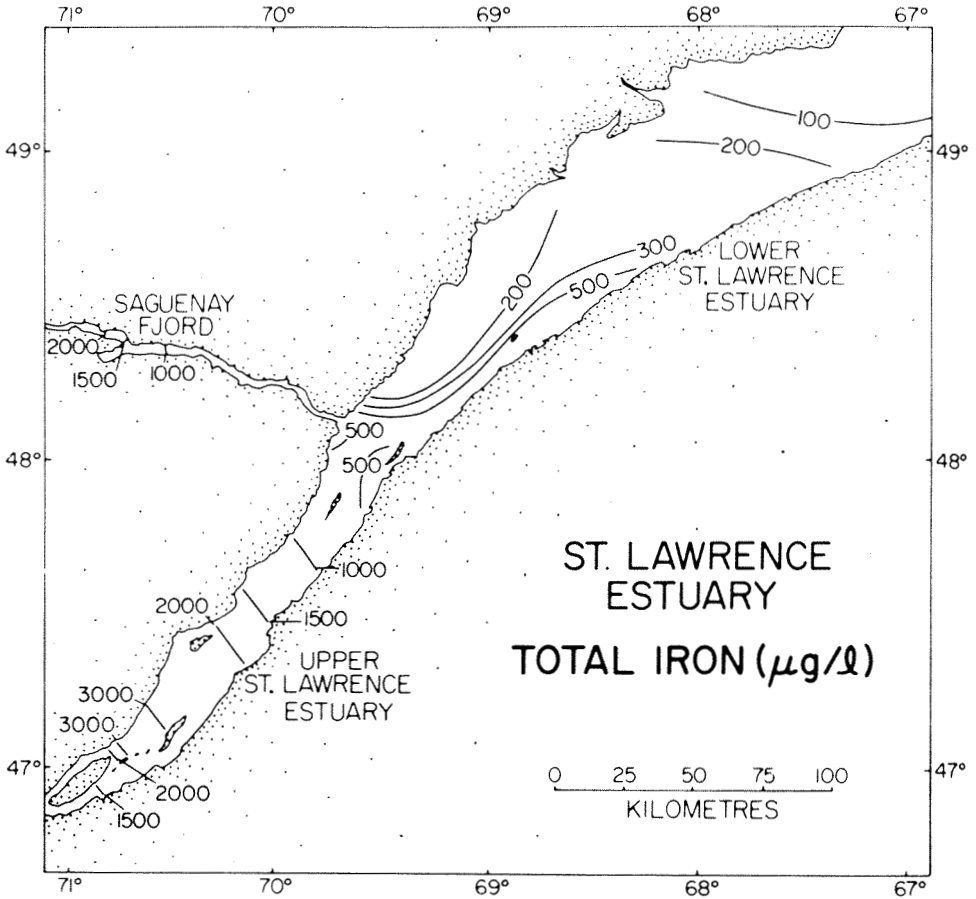


Figure 5. Surface (1 m) distribution of total iron.

flows of the order of $10^{10} \text{ m}^3/\text{yr}$, in the vicinity of the Manicouagan Peninsula.

Discussion

The most striking feature of the total iron (Fe_t) distribution in the upper St. Lawrence estuary is the elevated concentrations in the region of the turbidity maximum (Figs. 4 and 5) which are obviously related to the concurrent increases in the concentration of suspended particulate matter (SPM). Whether or not the Fe_t increases simply reflect SPM increases cannot be determined since the SPM concentrations are only semiquantitative. Downstream of the turbidity maximum Fe_t concentrations in the surface layer decrease with distance seaward.

The behavior of Fe_t within the upper and lower estuaries is best illustrated by the plot

of Fe_t versus salinity (Fig. 6). All the surface and near surface ($\leq 10 \text{ m}$) samples from both parts of the St. Lawrence estuary and those from intermediate depths in the lower estuary exhibit a nonlinear relationship indicative of losses of iron from the water column during mixing of fresh and saline waters. However, the zero salinity intercept for this curve does not coincide with the measured concentrations of Fe_t in the St. Lawrence River. At the time of this survey the concentration of total iron in the St. Lawrence River ($1\,200 \mu\text{g/l}$) was less than half the zero salinity intercept of $\sim 3\,000 \mu\text{g/l}$. Therefore the curve relating the surface Fe_t concentration and salinity cannot represent simple mixing between river and marine waters. An additional influence on the Fe_t distribution is obviously involved. The effect of the elevated SPM concentrations on the Fe_t distribution has already

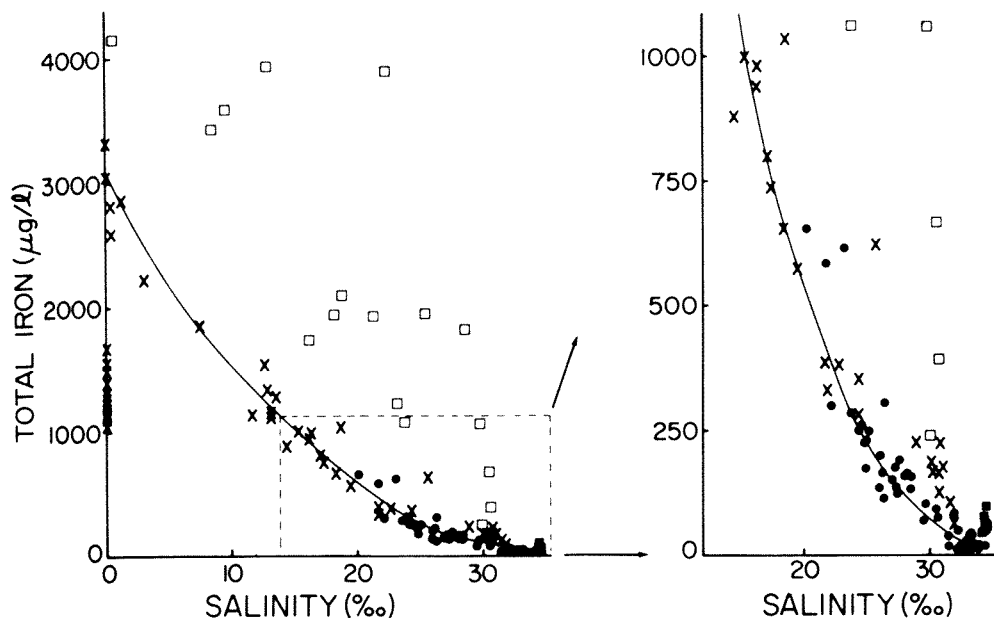


Figure 6. Plots of total iron versus salinity for the St. Lawrence estuary. Upper estuary surface samples are indicated by x, subsurface turbidity maximum samples by □, lower estuary samples by ● and lower estuary nepheloid layer samples by ■.

been mentioned. As can be seen in the Fe_t versus salinity plot, all the subsurface samples from the turbidity maximum fall within an envelope well above the mixing line. The relationship between SPM and salinity also has a zero salinity intercept greater than the river concentration and subsurface concentrations within the turbidity maximum that are elevated with respect to the mixing curve. It is evident from these results that the iron concentration of the zero salinity end member is determined by the characteristics of the turbidity maximum rather than those of the river.

The distributions of both total manganese (Mn_t) and total cobalt (Co_t) in the St. Lawrence estuary closely resemble that of total iron except for near bottom increases in Mn_t in the lower estuary. That the distributions of these three elements are dominated by their particulate phases is evident from the similarities of their distributions to that of suspended matter. This is also evident from the high ratios (>3) of the total to dissolved fractions of these metals in the St. Lawrence River, which is the principal source of iron, manganese, cobalt, nickel, copper and suspended particulate matter in the estuary (Bewers and Yeats, 1977). In the region of the turbidity maximum these ratios

are considerably larger. The distributions of total nickel, copper, and zinc also generally resemble that of iron although in these cases the influence of the turbidity maximum is less pronounced, as would be expected for elements which exist predominantly in the dissolved phase. Of all the metals, only the concentration of total cadmium seems unaffected by the turbidity maximum.

The behavior of iron in the Saguenay Fjord is somewhat less complex. The surface distribution (Fig. 5) shows that the Fe_t concentration decreases with distance from the river mouth. The relationship between iron and salinity for the Saguenay Fjord (Yeats and Bewers, 1976) shows straight-forward non-conservative mixing between river water and intermediate depth water within the fjord. The nature and strength of the prevailing water circulation is not conducive to the formation of a turbidity maximum by the resuspension and trapping of sediment particles as is the case in the upper St. Lawrence estuary. The only deviation from the mixing relationship occurs for the samples collected within the bottom nepheloid layer. This is similar to the increases in Fe_t observed within the nepheloid layer of the lower estuary (Fig. 6) which result from concomitant increases in the levels of SPM.

The general distributions and behavior of Fe_d in the Saguenay Fjord and the St. Lawrence estuary are similar except that the concentration in the Saguenay River greatly exceeds that in the St. Lawrence River and a large anomaly is observed in the tail of the turbidity maximum of the upper St. Lawrence estuary. The dominant common feature of the relationships between dissolved iron and salinity is their non-conservative behavior. In both cases iron is removed from the dissolved phase within the mixing zones. Similar behavior has been observed in several other estuaries (Boyle *et al.*, 1977 and references cited therein) and is likely to be universal. The major losses of dissolved iron occur in the low salinity regimes of estuaries and this is particularly evident in the Saguenay Fjord (Yeats and Bewers, 1976). Apparently, iron is converted from the dissolved to the particulate phase during the initial stages of mixing fresh and saline waters and the particulate iron is subsequently removed by sedimentation. In both estuaries the removal of particulate iron from the water column greatly exceeds that supplied by precipitation from solution.

The behavior of dissolved manganese in the St. Lawrence estuary differs strikingly from that in the Saguenay Fjord (Fig. 7). The only feature common to both estuaries is the occurrence of greatly elevated Mn_d concentrations in the bottom nepheloid layers. This is discussed in more detail below. The relationships between Mn_d and salinity in the St. Lawrence estuary and the Saguenay Fjord, although showing much greater scatter than the corresponding Fe_d versus salinity plots, appear to have opposite curvature. In the Fjord, dissolved manganese behaves like dissolved iron and is removed from solution within the water column. In the estuary, however, the non-linearity of the curve suggests that dissolved manganese is produced within the mixing zone as has been observed elsewhere (Evans *et al.*, 1976). Either the release of manganese by desorption in estuaries is not a universal process or this difference results from the influence of the different physical regimes on manganese released by diagenetic processes. Whereas manganese released from the sediments would quickly become mixed throughout the upper St. Lawrence estuary, the greater depth and relatively low intensity of mixing in the Saguenay Fjord would prevent diagenetically released manganese from being observed in the surface waters. The

net removal of dissolved manganese in the fjord may result from manganese complexation with, or absorption on, the relatively large amounts of organic matter discharged by the Saguenay River.

The dissolved components of cobalt, nickel and copper were also measured in the upper estuary. The data show considerable scatter but essentially fit linear regressions with salinity. Unfortunately we have no measurements of the dissolved components of these metals elsewhere in the system since the total and dissolved concentrations cannot be differentiated except in relatively turbid waters. Extrapolation of the least squares fitted linear regressions of Cu_d and Ni_d with salinity for the upper estuary (Bewers and Yeats, 1978) to the high salinity (34.4‰) deep waters of the lower estuary yield values of 0.21 $\mu\text{g/l}$ and 0.78 $\mu\text{g/l}$ respectively. The high salinity intercept for copper is comparable to the total copper concentration at intermediate depths in the lower estuary but that for nickel is sufficiently greater than the ambient total nickel concentration in the deeper waters of the lower estuary to suggest that nickel may, like manganese, be released into solution within the mixing zone. However, both the limited spatial coverage and the low correlation coefficient of the Ni_d versus salinity relationship make this a tenuous argument.

We present in figure 3 composite depth profiles for each metal at stations on an axial section of the lower estuary. These profiles show distinct increases in concentration in the lowest 50 m of the water column for Fe_t , Zn_t , Cd_t and particularly dissolved and total Mn. These increases are confirmed by the significance test results shown in table I which also indicate near bottom increases significant at the 90% level for Cu_t . A similar analysis of the results from the Saguenay Fjord (Yeats and Bewers, 1976) shows near bottom increases for Fe_t , Ni_t , Cu_t , Zn_t and Cd_t but only the Fe_t , Ni_t and Cu_t increases are significant at the 90% level.

The SPM concentration also increases in the near bottom nepheloid layer of both the lower estuary and Saguenay Fjord. The most obvious explanation for the near bottom increases in the total metal concentrations is increases in the particulate metal concentrations resulting from increases SPM concentrations. However, if the metal content of nepheloid layer SPM approximates that of the sediments, only the near bottom in-

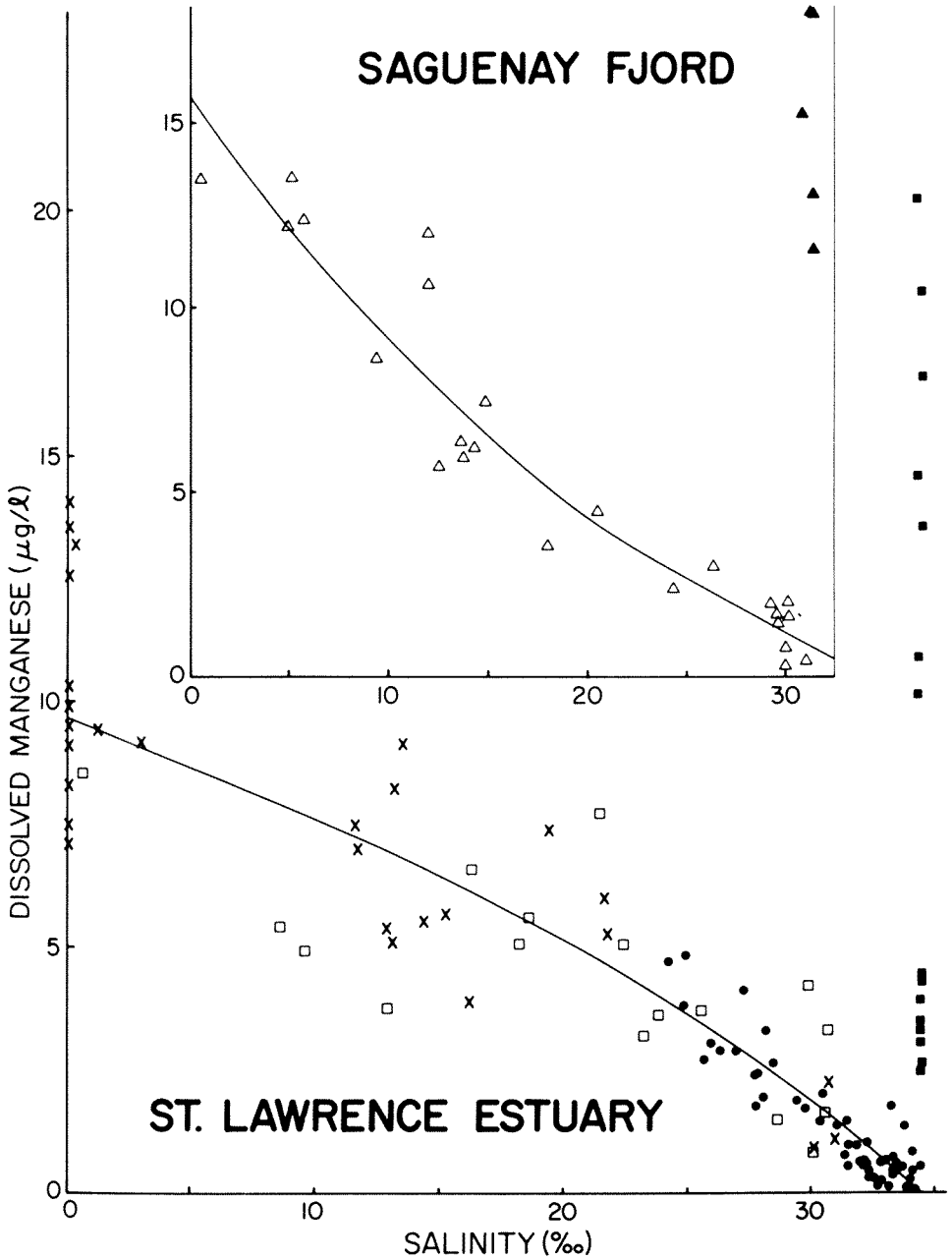


Figure 7. Plots of dissolved manganese versus salinity for the St. Lawrence estuary and Saguenay Fjord. Symbols for St. Lawrence estuary are as described in figure 6. Saguenay Fjord samples are indicated by Δ except those in the bottom nepleloid layer which are indicated by \blacktriangle .

creases in iron can be explained solely by increases in SPM levels. For all the others, the metal concentrations in suspended matter would have to exceed those in the underlying sediments by factors of ten or greater to account for the levels observed. In

view of the magnitude of these enrichments and the mechanisms of particle resuspension (Hjulstrom, 1939) it seems unlikely that this effect results purely from particle size fractionation during the resuspension process.

In the case of manganese, enrichment in the dissolved fraction confirms that sources other than purely the suspended matter within the turbidity maximum are responsible for the Mn enrichment in the deepest layer. The Mn results, discussed in more detail elsewhere (Yeats *et al.*, 1978b) show that diagenetic releases of Mn_d from the sediment are responsible for the near bottom increases of both dissolved and particulate Mn. Dissolution of trace metals absorbed onto iron and manganese oxides will accompany reduction of these oxides in the sediments. Although formation of relatively insoluble metal sulphides may be expected in reducing sediments, these trace metal sulphides are sufficiently soluble to yield pore water concentrations much higher than those of the overlying seawater. The metals could then cross the sediment/water interface by diffusion thereby causing metal enrichments of bottom waters. Manganese, zinc and cadmium show the largest and most significant enrichments in the bottom water. Presley *et al.* (1972) found elevated Mn and Zn concentrations, but not Co, Ni and Cu, in the anoxic deep waters of Saanich Inlet which they attributed to sediment diagenesis.

We have previously estimated trace metal fluxes through the upper and lower St. Lawrence estuary based on spring water flow conditions using mean concentrations of the trace metals in each of the inflowing and outflowing water masses (Bewers and Yeats, 1977). The results of these flux calculations can be used as confirmatory evidence for some of the conclusions based on salinity/metal relationships presented here. In the upper estuary the influxes of the total and dissolved forms of all the metals, except Mn_d and Ni_t , exceed their effluxes. These internal losses occur despite the existence of a net balance for SPM. These results are consistent with the metal versus salinity relationships for Fe_t , Fe_d , Mn_t , Co_t , Cu_t and Zn_t , all of which show negative curvature, and for Mn_d which shows positive curvature. The suggestion, based on the extrapolation of the Ni_d versus salinity curve to high salinity, that there is a net gain in Ni_d cannot be confirmed directly by the flux calculations although the latter do show a gain in Ni_t within the upper estuary. The flux calculation can also be used to quantify the losses or gains indicated by the metal versus salinity relationships. Thus, in the upper estuary the net loss of Fe_t (4.5

kg/sec) exceeds that of Fe_d (0.57 kg/sec) by a factor of eight. In the lower estuary losses are observed for SPM and all metals except Zn. The calculated gain for Zn is extremely small and almost certainly due to analytical imprecision. When the upper and lower estuaries are combined net losses ranging from 16.6 kg/sec for Fe_t to 0.005 kg/sec for Cd (52% and 24% of the respective total influxes in fresh and saline waters) are observed for all the metals.

Acknowledgement

We thank Dr. G. Topping and P. Strain for constructive review of the manuscript.

References

- ABDULLAH, M. I. and L. G. ROYLE, 1974. A study of the dissolved and particulate trace elements in the Bristol Channel. — *J. mar. bio. Ass. U.K.*, 54: 581-597.
- BEWERS, J. M., I. D. MACAULEY and B. SUNDBY, 1974. Trace metals in the waters of the Gulf of St. Lawrence. — *Can. J. Earth Sci.*, 11: 939-950.
- BEWERS, J. M., B. SUNDBY and P. A. YEATS, 1976. The distribution of trace metals in the western North Atlantic off Nova Scotia. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40: 687-696.
- BEWERS, J. M. and P. A. YEATS, 1977. Oceanic residence times of trace metals. — *Nature (London)*, 268: 595-598.
- BEWERS, J. M. and P. A. YEATS, 1978. Trace metals in the waters of a partially mixed estuary. — *Estuar. coastal mar. Sci.*, 7: 147-162.
- BOYLE, E. A., P. COLLIER, A. J. DENGLER, J. M. EDMOND, A. C. NG and R. F. STALLARD, 1974. On the chemical mass balance in estuaries. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38: 1719-1728.
- BOYLE, E. A., J. M. EDMOND and E. R. SHOLKOVITZ, 1977. The mechanism of iron removal in estuaries. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41: 1313-1324.
- COONLEY, L. S., E. B. BAKER and H. D. HOLLAND, 1971. Iron in the Mullica River and Great Bay, New Jersey. — *Chem. Geol.*, 7: 51-63.
- COOTE, A. R. and R. S. HILTZ, 1975. The distribution of silicate, nitrate and phosphate in the Gulf of St. Lawrence. — *Bedford Inst. Oceanogr. Rep. BI-R-75-14*, 65 p.
- DYER, K. R., 1973. *Estuaries. A Physical Introduction*. — John Wiley and Sons, London, 140 p.
- EISMA, O., 1975. Dissolved iron in the Rhine estuary and adjacent North Sea. — *Netherlands J. Sea Res.*, 9: 222-230.

- ELDERFIELD, H. and A. HEPWORTH, 1975. Diagenesis, metals and pollution in estuaries. — *Mar. Pollut. Bull.*, 6: 85-87.
- EVANS, D. W., N. H. CUTSHALL, F. A. CROSS and D. A. WOLFE, 1977. Manganese cycling in the Newport River estuary, North Carolina. — *Estuar. Coastal mar. Sci.*, 5: 71-80.
- HEAD, P. C. and J. D. BURTON, 1970. Molybdenum in some ocean and estuarine waters. — *J. mar. bio. Ass. U.K.*, 50: 439-448.
- HJULSTROM, F., 1939. Transportation of detritus by moving water p. 5-31. *In*: P. D. Trask (Ed.), *Recent marine sediments*. — Am. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., 736 p.
- HOLLIDAY, L. M. and P. S. LISS, 1976. The behavior of dissolved iron, manganese and zinc in the Beaulieu estuary, S. England. — *Estuar. coastal mar. Sci.*, 4: 349-353.
- MEADE, R. H., 1972. Transport and deposition of sediments in estuaries, p. 91-120. *In*: B. W. Nelson (Ed.), *The Environmental framework of coastal plain estuaries*. — *Geol. Soc. Am., Memoir* 133, 619 p.
- NEU, H. J. A., 1964. Salinity structure, temperature distribution and transport mechanisms in the St. Lawrence estuary. — Bedford Inst. Oceanogr. Dartmouth, N.S., Unpublished manuscript, 46 p.
- POSTMA, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment, p. 158-179. *In*: G. H. Lauff (Ed.), *Estuaries*. — Am. Ass. Adv. Sci. Publ. 83, 757 p.
- PRESLEY, B. J., Y. KOLODNY, A. NISSENBAUM and I. R. KAPLAN, 1972. Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Columbia. II. Trace element distribution in interstitial water and sediment. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36: 1073-1090.
- PRITCHARD, D. W., 1967. What is an estuary: Physical viewpoint p. 3-5. *In*: G. H. Lauff (Ed.), *Estuaries*. — Am. Ass. Adv. Sci. Publ. 83, 757 p.
- SEIBERT, G. H., R. W. TRITES, and S. J. REID, 1979. Deep water exchange processes in the Saguenay fjord. — *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 42-53.
- TAYLOR, G. B., 1975. Saguenay river sections from twelve cruises 1961-1974. — *Bedford Inst. Oceanogr. Rep. BI-D-75-2*, 38 p.
- TRITES, R. W., 1972. The Gulf of St. Lawrence from a pollution viewpoint, p. 59-72. *In*: M. Ruivo (Ed.), *Marine Pollution and Sea Life*. London: Fishing News (Books). — UN FAO, 624 p.
- WINDOM, H. L., K. O. BECK and R. SMITH, 1971. Transport of trace metals to the Atlantic Ocean by three southeastern rivers. — *Southeast. Geol.*, 12: 169-181.
- YEATS, P. A. and J. M. BEWERS, 1976. Trace metals in the waters of the Saguenay fjord. — *Canad. J. Earth Sci.*, 13: 1319-1327.
- YEATS, P. A., J. M. BEWERS and A. WALTON, 1978a. Sensitivity of coastal waters to anthropogenic trace metal emissions. — *Mar. Pollut. Bull.* 9: 264-268.
- YEATS, P. A., J. M. BEWERS and B. SUNDBY, 1978b. Manganese recycling in coastal waters. — Submitted to *Marine Chemistry*.

DYNAMICS AND DISTRIBUTION OF SUSPENDED PARTICULATE MATTER IN THE ST. LAWRENCE ESTUARY¹

Kate KRANCK

*Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography,
Dartmouth, Nova Scotia*

Résumé

Pour cartographier la concentration, la dimension et le rapport poids : volume des particules en suspension dans l'estuaire du Saint-Laurent, l'auteur a utilisé des échantillons ponctuels et des échantillons prélevés à des stations fixes provenant de tout l'Estuaire à partir de Pointe-des-Monts jusqu'au lac Saint-Pierre. La distribution des particules en suspension est reliée à des facteurs physiques (salinité, courant et profondeur) et à la nature des échantillons de fond. Un maximum de turbidité maintenu par l'assymétrie des courants de marée et la flocculation est la caractéristique dominante de l'Estuaire moyen. Dans la zone de turbidité maximale, entre le fleuve et les régions de l'Estuaire situées en aval, la déposition préférentielle des particules organiques par rapport aux particules inorganiques amène dans le matériel en suspension, un appauvrissement graduel en matière organique et en polluants associés. Dans l'Estuaire maritime la matière particulaire en suspension est stratifiée en trois couches, comme dans les régions côtières ouvertes. Les sédiments du fond reflètent la concentration et l'état de flocculation du matériel sédimentaire en suspension dans l'eau au-dessus.

Abstract

Spot samples and tidal cycle anchor stations throughout the estuary from Pointe des Monts to Lake St. Pierre are used to map concentrations, grain size and weight/volume ratios of suspended particulate matter. Their distributions are related to physical factors (salinity, currents and depths) and to bottom samples. A turbidity maximum maintained by tidal current asymmetry and flocculation dominates the upper estuary. Preferential deposition of organic as opposed to inorganic particles in the turbidity maximum depletes the particulate matter of organic matter and associated potential pollutants between the river and the seaward parts of the estuary. The lower estuary has a normal open coastal three-layer stratification of particulate matter. Bottom sediments reflect the concentration and flocculation state of sediment in the waters above.

Introduction

During a two-week cruise from 26 June to 6 July 1975, suspended particulate matter, plankton, nutrients and physical oceanographic variables were measured in the St. Lawrence Estuary from Pointe-des-Monts to Lake St. Pierre. The sampling pattern consisted of about 60 spot stations and seven 14-hour anchor stations sampled at least three depths. The samples were collected with a combined STD-light attenuation instrument package using a Guildline STD, a Bedford Institute light attenuation meter

(Larsen, 1973), and a General Oceanics rosette sampler. Currents were measured with a Bendix shipboard recording current meter. The natural suspended particle size was measured using a Coulter counter on-board and water samples filtered for measurement of other variables performed later in the laboratory, including deflocculated inorganic grain size analysis (Kranck, 1973) and total organic carbon (Gordon and Sutcliffe, 1974).

The purpose of the cruise was to carry out a multidisciplinary study of the St.

¹ Contribution from the Bedford Institute of Oceanography.

Lawrence estuary and work is still in progress on the data. Greisman and Ingram (1977) have described results of nutrient distribution. This paper describes preliminary results of particulate matter concentrations and grain size distribution and discusses the factors controlling their distribution.

The St. Lawrence River has a drainage basin of $1,32 \times 10^6 \text{ km}^2$ and a mean annual runoff of $3,7 \times 10^{11}$ tons (F. Jordan, pers. comm.). Compared to other major rivers of the world its annual sediment load of $1,1 \times 10^6$ tons is relatively sparse (d'Anglejan and Smith, 1973) probably due to the Great Lakes and a few smaller lakes of which Lake St. Pierre (Fig. 1) is one, acting as settling basins. The estuary of the St. Lawrence, usually considered to be the area between Pointe-des-Monts and Île d'Orléans is divided by differences in bottom topography into two parts. The upper estuary landward from the mouth of the Saguenay River has an uneven topography with several disconnected channels and troughs separated by ridges, some of which surface to form islands. The southern side is shallower and dominated by depths less than 10 meters. The north side has a nearly continuous channel dredged to around 11 metres and depressions with depths in excess of 100 metres. In the lower estuary between the Saguenay and Pointe-des-Monts the beginning of the Laurentian Channel forms a deep central

trough flanked by shallow shelf areas along the shores.

Sea water intrudes into the estuary to the vicinity of Île d'Orléans but tidal effects penetrate considerably farther. Neu (1970) has described the estuary as well mixed in the vicinity of Île d'Orléans, moderately mixed in most of the upper estuary, and stratified in the lower estuary. As well as the normal two-layer estuarine flow lateral geostrophic flow deflects the fresher surface flow towards the south and the more saline flow towards the north shore.

A number of studies have reported measurement of suspended particulate matter in the estuary. D'Anglejan and Smith (1973) described the turbidity maximum seaward of Île d'Orléans, large tidally controlled suspended sediment fluxes in the upper estuary and the existence of a turbid bottom layer in the lower estuary. Continuing these studies (d'Anglejan and Ingram, 1976; Ingram and d'Anglejan, 1977), they demonstrated the dominance of advective transport both longitudinal and cross channel in the seaward portion of the upper estuary. Workers at CENTREAU — (Soucy *et al.*, 1976) have studied transport and flocculation dynamics in the upper estuary and Cossa and Poulet (1978) and Bewers and Yeats (in press) measured suspended matter in conjunction with trace metal studies. Their studies show

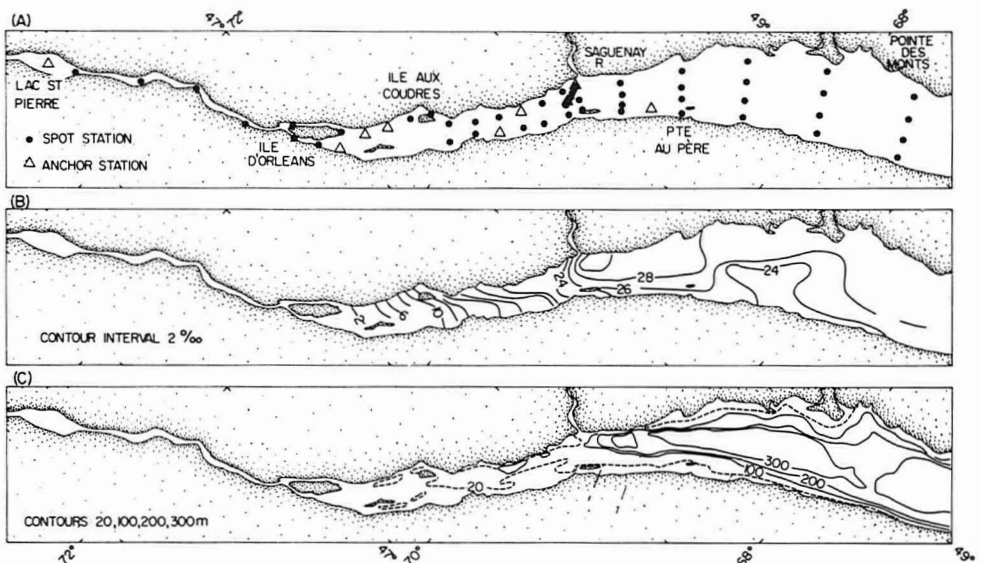


Figure 1. A. Station locations. B. Surface salinity measured at spot stations. C. Bathymetry.

a pattern of slight increase in average grain size of particulate matter at the salt water limit and a decrease below the turbidity maximum. Concentrations also increase and decrease. Bottom sediments in the estuary have been described by Loring and Nota (1973) and d'Anglejan and Brisbois (1974).

Particulate matter concentrations

Total particulate matter concentrations measured during the cruise ranged from 0.20 to 325 ppm by volume. The actual values measured are not significant in themselves since they change with the stage of the tide as well as seasonally, but they demonstrate the general distribution pattern of the estuary (Fig. 2). Between Île d'Orléans and Lake St. Pierre in what I will call the river portion of the estuary, concentrations vary between 5 and 10 ppm and the water is well mixed with no consistent differences between surface and bottom. The most striking feature in the concentration distributions is the turbidity maximum which occurs as a band of turbid water in the upper estuary, starting and ending farther upstream on the north side than on the south side. This lateral variation coincides with changes in salinity values and reflects the

general cyclonic circulation in the estuary. Downstream from the turbidity maximum concentrations decrease seaward with consistently higher concentrations in the less saline water along the south shore of the estuary.

In the general area of the turbidity maximum bottom concentrations are higher than surface concentrations but in the rest of the estuary maximum concentrations occur in the surface layer, which contains proportionally more river water. The river water is the origin of most particles in the estuary. Organic production also raises the concentration in the surface layer.

Figure 3 shows the classical pattern of a turbidity maximum as described by Postma (1967). High concentrations at the bottom are stirred up by the flood current. This material is advected up into the surface layer or enters it via the toe of the salt wedge where the fresh surface current overrides the denser bottom layer. Thus flood concentrations are higher in the bottom layer and ebb concentrations in the surface layer.

The rapid resuspension is accompanied by rapid settling. Similar, rapid settling rates have been described by Krone, from the Savanna estuary and duplicated in the laboratory (Kranck, unpublished).

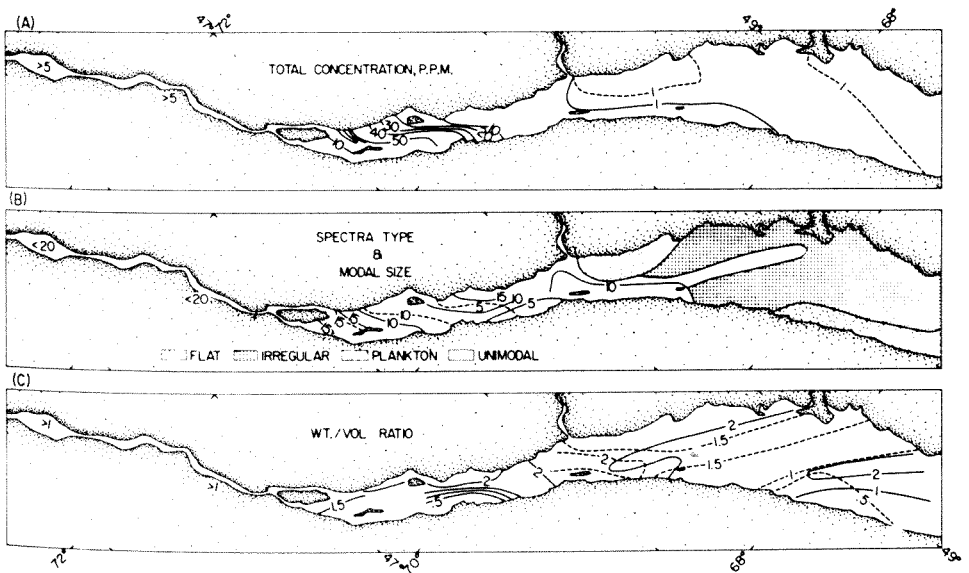


Figure 2. A. Concentrations of total suspended particulate matter. Bottom concentrations — solid line. Surface concentrations in the lower estuary — broken line. B. Distribution of particulate matter spectral types and modal sizes from spot stations. Bottom — solid line. Surface — broken line. C. Weight/volume ratios of particulate matter for spot stations. Bottom — solid line. Surface in the lower estuary — broken line.

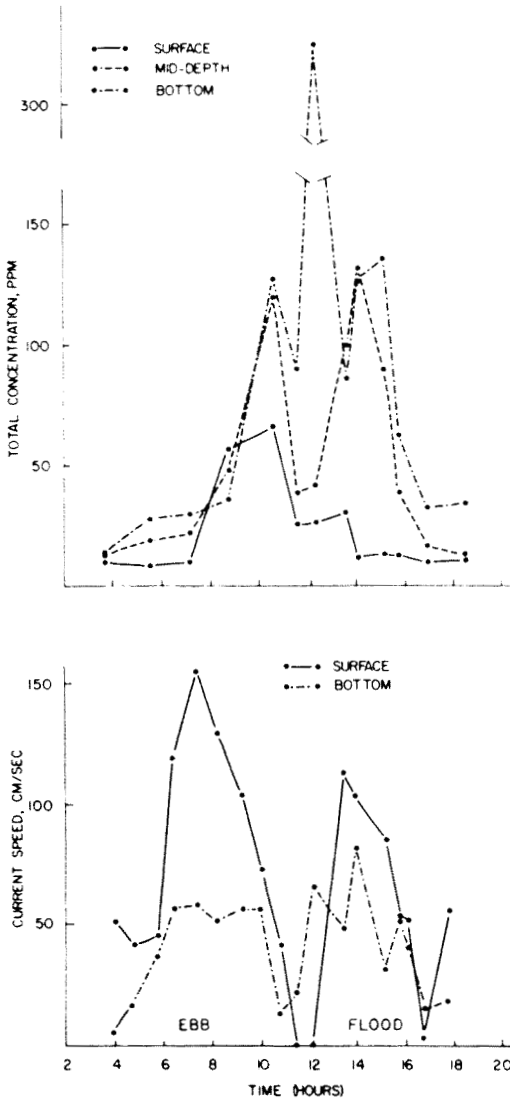


Figure 3. Variation in particulate matter concentrations and current speeds in turbidity maximum as measured at anchor station east of Ile d'Orléans (middle of three stations figure 1A). Depth of station — 18 m.

The lower estuary is characterized by a three-layer stratification (Fig. 4). A particle-rich surface layer is separated from a turbid bottom layer by water with very low and constant particulate matter concentrations. In shallow regions close to the shores only the surface layer occurs. This three-layer stratification conforms to the density stratification and show that the surface, middle and

bottom water masses have distinctive particle populations.

Immediately below the Saguenay upwelling of water from the middle layer creates an area of anomalously low particle concentration at the surface.

Grain size composition

Three grain size spectral types occur within the estuary (Fig. 2B). Straight flat spectra with about equal concentrations of all particle sizes characterize the upwelled water below the Saguenay as well as the cold middle layers in the lower estuary (Fig. 3). Similar spectra occur in the middle layers of the open ocean and are formed by the flocculation of slowly settling very dilute populations (Kranck, unpublished). At the start of the Gaspé current, where productivity increases, one or more plankton peaks dominate the particle spectra. The most common spectra are unimodal distributions with two limbs on either side of a well defined mode. Particles forming these spectra are found everywhere in the river portion and upper estuary and near the bottom in the lower estuary. This spectral pattern is common in waters with fairly high inorganic sediment content and is produced by a combination of resuspension, turbulent mixing, flocculation and settling (Kranck, 1975, and unpublished). The irregular spectra combine some or all of the characteristics of the other types and form a transition zone.

Modal sizes of the unimodal samples are highest in the river and in the turbidity maximum (Fig. 2B). Some size increase (Fig. 5) occurs where the particles first begin to mix with sea water (Soucy *et al.*, 1976). There is no major increase, however, either in absolute modal size or in the proportion of total to inorganic modes. The river particulate matter is already flocculated when it reaches Lake St. Pierre; the concentrations of small particles are lower in the natural than in the deflocculated spectra. Where the two-layer density stratification and associated residual flow become established below Ile d'Orléans surface and bottom modal sizes begin to differ. Bottom modes remain around 10 to 20 μm but surface modes decrease. The maximum size particles the surface current carries beyond the turbidity maximum appears to be about 4 μm . The exception is behind Ile aux Coudre where strong currents completely mix the water and coarse particles occur through the water

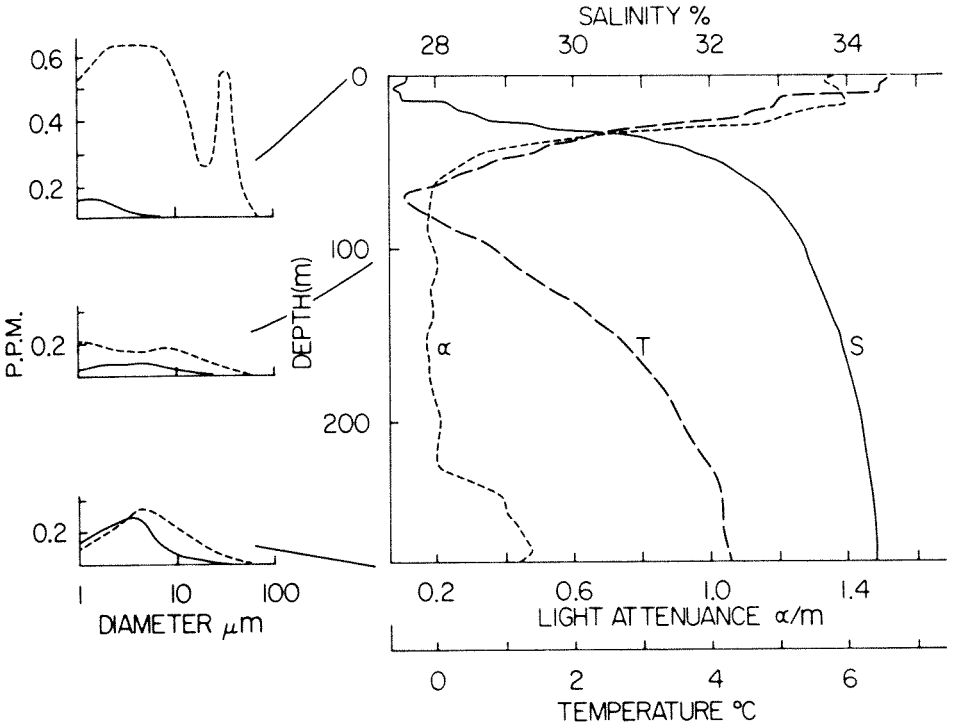


Figure 4. Stratification and particle spectra in the lower estuary.

column. The modal size of the deflocculated inorganic particles also decrease as well as the maximum grain size and concentration of grains larger than the mode. This decrease represents a permanent addition to the bottom sediment.

Figure 6 illustrates the very rapid particle fluxes in the turbidity maximum. Very little change in average grain size occurs because particles flocculate up to the modal size, the size at which they begin to settle and disappear from the suspension. The deflocculated single grain spectra show that most settling takes place in sizes above 4 μm but some settling occurs in all sizes. A slight bimodality is produced probably due to more rapid decrease of particles of about 4 μm which settle both as single grains and as flocs.

In the lower estuary the water of low concentrations of particles which escapes the upper estuary forms the surface layer, admixed with some organic production and minor amounts of particulate matter from the Saguenay. Very slow settling into the

middle layer helps maintains the population of this layer some of which may originate outside the estuary. When the flocculent material reaches the bottom it is subject to resuspension by bottom shear forces and a thin turbid bottom layer (so-called nepheloid layer) is formed of temporarily resuspended particles.

The wt/vol ratio, which is the ratio of weight concentrations from gravimetric analysis using 8 μm filters and volume concentrations from the Coulter counter, gives an indication of the average overall composition of the particulate matter. Pure inorganic sediment has values above 2,5 and material composed only of organic particles may be as low as 0,1.

In the St. Lawrence estuary the wt/vol ratio in the river water varies between 1 and 1,5 (Fig. 2C). The apparent difference between the south and north shore in the turbidity maximum is due to the differences in the stage of the tide at the times of sampling. In this area wt/vol ratios decrease seaward and towards the bottom, and large

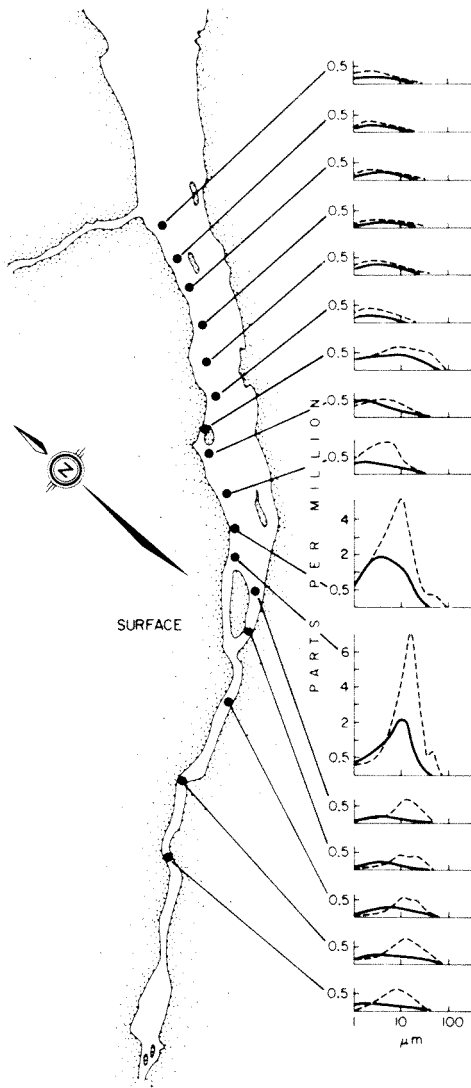


Figure 5. Particle size spectra in surface water of upper estuary. Total natural suspended matter — broken line. Deflocculated inorganic grains — solid line.

variations occur over a tidal cycle. The low wt/vol ratios are associated with high concentrations and large grain size and are attributed to organic matter which flocculate faster and more readily and form particles with high settling rates. This is substantiated by the higher concentrations of carbon in samples with larger modal sizes (Fig. 4). Microscopic examination shows that in the river and in the turbidity maximum abundant

flocs and organic aggregates are found, but to seaward particles generally consists of single mineral grains and very small flocs. These are the fine grained 'tail' which was selectively retained in suspension when the larger particles enriched in organic matter settled out. Thus the turbidity maximum produces a decrease in organic content as well as grain size. As a result of this differential settling the area off the mouth of the Saguenay River has the highest wt/vol ratios in the whole estuary.

In the lower estuary the relative amounts of organic material again increase as the river-derived particles settle out and become diluted, and particles of biological origin begin to dominate. The wt/vol ratio shows a tongue of higher ratios crossing diagonally from Point-au-Père across the estuary similar to the pattern of cross-wise transport indicated in the particle spectra and salinity distribution (Fig. 1B and 2B).

Bottom sediment

Within the study area sediment textures range from coarse sand to fine mud (Fig. 8A). The coarse sediments have well defined two-part size-distribution spectra; a modal peak or humped portion formed by grains which settled as single grains and an unsorted tail of particles which arrived at the bottom as part of flocs (Kranck, 1975). Included in the single grain mode is material transported mainly as bedload. In general, the prominence of the single grain mode increases with grain size. The sediment samples form a continuous sequence from coarse sand with only a very small though distinct admixture of unsorted material to fine mud which is deposited entirely by flocculation and has the same size distribution as the suspended sediment in the water column. In the samples classified as multimodal sand and mud the "floc-tail" and "single grain mode" are often of similar prominence causing an uneven spectrum with no well defined mode or several modes both in the mud and sand sizes. The Leda Clay (?) is a stiff, very fine-grained clay. It is too fine to have been deposited under the present day very dynamic conditions in the upper estuary where it occurs and probably comes from outcrops of post-glacial Champlain Sea clay (Karrow, 1965). D'Anglejan and Brisbois (1974) identified similar samples as post-glacial marine or fresh water clay. Their poor sorting and low

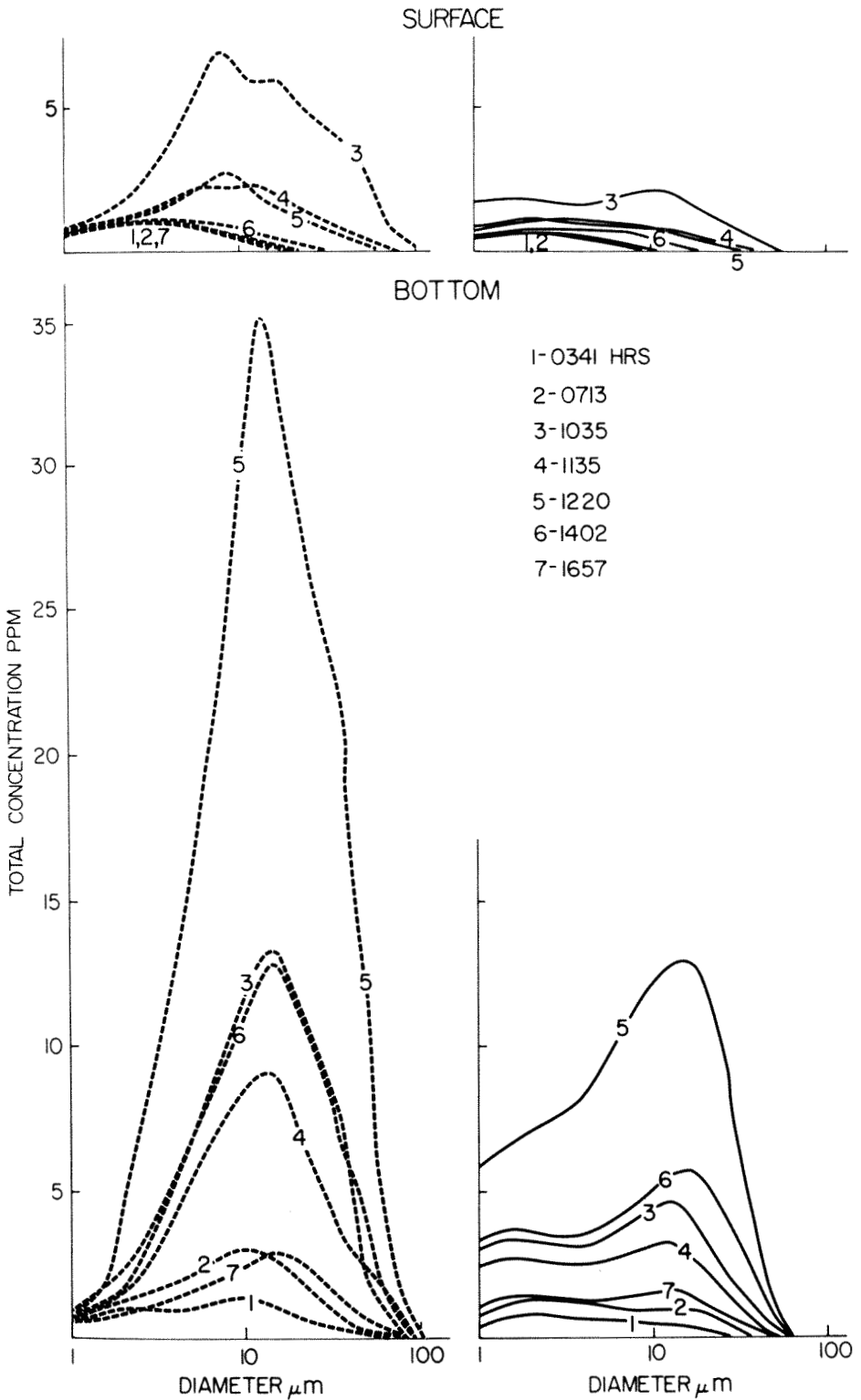


Figure 6. Particle spectra in turbidity maximum (same station as illustrated in figure 3). Total natural suspended matter — broken line. Deflocculated inorganic grains — solid line.

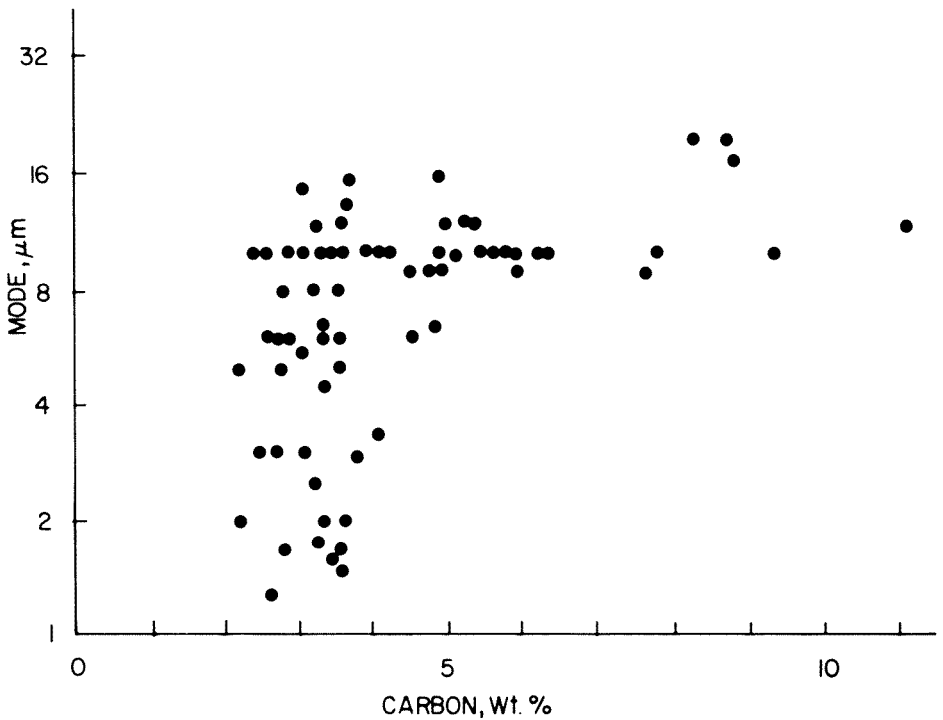


Figure 7. Relationship between modal size and particulate organic carbon in samples from spot stations and first and last cast of anchor stations in upper estuary.

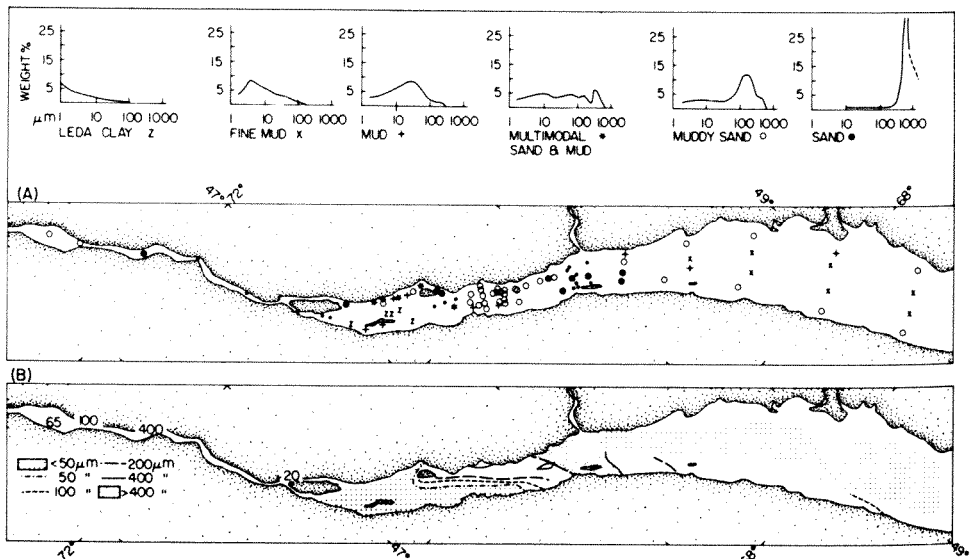


Figure 8. A. Bottom sediment spectra and distribution of sediment types. Dots denote stations where no sample was recovered and the bottom probably consists of gravel or hard bottom. B. Distribution of bottom sediment modal sizes. For samples of multimodal sand and mud (figure 8A) smallest mode used.

grain sizes (mode $< 1 \mu\text{m}$) are more in accord with a marine origin.

The changes in bottom sediment progressing seaward are as follows. In Lake St. Pierre sandy mud was recovered while the narrow river channel consisted of sand or bottom too hard to yield a sample. Below Île d'Orléans in the area of the turbidity maximum high mud content characterizes all the samples but a sand mode also frequently occurs. In this area of high currents and sediment concentrations bedload and suspended sediment are deposited simultaneously and very poorly sorted sediments are produced. Seaward the relative proportion of flocc-tail relative to single-grain peak decreases as the rate of deposition of suspended sediment decreases with decrease in total concentration. The single-grain modal size increases, and the modal hump progressively dominates the distribution until off the Saguenay River entrance almost clean sand is deposited.

Bottom sedimentation in the lower estuary is strongly controlled by topography. The deep basin receives only fine mud but coarse material is transported seaward along the south shore by the Gaspé current. The samples from the north shore were too few to allow generalization about this area.

Discussion

Turbidity maxima are universal features of estuaries and numerous studies have shown considerable variability in their concentration, stratification, and location relative to the river-sea water mixing zone; a variability as great as in the physical factors controlling their formation (e.g. Mead, 1969; Postma, 1967; Buller, Green and McManus, 1975). Most explanations of their origin fit Postma's model of cycling of sediment by settling from seaward flowing surface water into the shoreward flowing bottom water and consequent recycling by entrainment (Postma, 1967). Less unanimity exists regarding the role of flocculation in turbidity maxima formation. Some studies, especially by engineers, considered flocculation an important factor if not the cause of turbidity maxima in estuaries (Lunenburg, 1939; Ippen, 1966; Krone, 1972). Later studies questioned its significance on grounds of lack of evidence and of the adequacy of the hydrodynamic processes alone in explaining turbidity maxima (Mead, 1969, 1972; Schubel, 1971).

In the upper estuary of the St. Lawrence bottom currents resuspend soft newly deposited sediment. If the resulting suspended matter occurred as single grains its settling rate would be too low to prevent its escape in seaward-flowing surface currents. But it is highly flocculated, and only the fine relatively unflocculated tail remains in the surface water at the seaward end of the turbidity maximum. The residual transport direction of the scouring bottom currents is landward in the salt wedge and seaward upstream from it, thereby placing the turbidity maximum at the point of equilibrium between the two. This is a dynamic equilibrium which moves with the tide. The sediment in the river water is already partly flocculated and the flocculation in the turbidity maximum is caused by increase in concentration leading to a proportional increase in particle collision rather than by exposure to salt water of unflocculated river sediment. Maintenance of the turbidity maximum thus requires both the asymmetric, two-layer estuarine flow and flocculation. Schubel (1968a) has rightly pointed out that flocculation cannot produce the high concentrations of suspended sediment — it tends to increase sedimentation rate and decrease turbidity. Flocculation can however retain fine sediment in an estuary and make it available for resuspension.

Postma (1967) hypothesized that suspended sediment concentrated by hydrodynamic recycling should have a narrow grain-size range. In the present study the suspended matter is very poorly sorted and only flocculation can explain the similar settling rate of grains with a large range of grain sizes. Neither do the data fit Schubel's (1971) model of two subpopulations; a finer stable background population and a coarser population fluctuating in response to changes in turbulence. Figure 6 clearly demonstrate that grains of all sizes participate in the settling and resuspension.

There is no significant difference in total concentration of suspended particulate matter above and below the turbidity maximum, but marked changes in the grain size and wt/vol ratios especially of the surface waters demonstrate that the suspended particulate matter is altered qualitatively and not just temporarily retained in the turbidity maximum. The apparent partitioning of organic and inorganic matter and differential settling of organic matter in the turbidity maximum may explain

the high trace metal concentrations found in the turbidity maximum suspended matter (Cossa and Poulet, 1978; Bowers and Yeats, 1978) and bottom sediments (Loring, 1978). Sholkovitz (1976) has shown massive flocculation of colloidal organic substances and associated metals on mixing of river water and sea water. In the natural environment such substances will flocculate to the prevailing modal size (Kranck, 1974) and become deposited. The differential settling of inorganic and organic material indicates that organic material flocculates faster and more completely than the inorganic fraction.

The lower estuary has basically an open shelf or ocean character with low concentrations through the greater volume of water and higher concentrations only at the boundaries formed by the surface, bottom and shores. The occurrence of three spectral types in the surface water indicates a fairly complex system. The origin of the tongue of river-derived water across the lower estuary has been discussed by Greisman and Ingram (1977). Massad and Brunel (1979) have found similar upstream-downstream variations in bottom fauna in the lower estuary indicating that cross-channel flow occurs often enough to affect bottom characteristics. The bottom sediments in general within the study area show the effects of two types of deposition: flocculent and single particle which again demonstrates the fundamental importance of and difference between these two processes.

Acknowledgements

I would like to thank M.J. Dunbar and P. Greisman for assistance and encouragement, especially at sea, H. Neu for discussions, and S. Byers and T. Milligan for help in sample and data analysis. The help of Captain F. Meagher of CSS *Dawson* and the ship's company, whose cooperation were essential to the program, is also gratefully acknowledged. B.F. d'Anglejan, D.H. Loring and J.M. Bowers provided some of the bottom samples used.

References

- BEWERS, J.M. and P.A. YEATS, 1978. Trace metals in the waters of a partially mixed estuary. — *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 7: 147-162.
- BULLER, A.T., C.D. GREEN and J. MCMANUS, 1975. Dynamics and sedimentation: The Tay in comparison with other estuaries 203-249. *In*: J. Hails and A. Carr (Ed.), *Nearshore sediment dynamics and sedimentation*, John Wiley and Sons, London, 316 p.
- COSSA, D. and S.A. POULET, 1978. Survey of trace metal contents of suspended matter in the St. Lawrence Estuary and Saguenay Fjord. — *J. Fish. Resl Bd Can.*, 35: 338-345.
- D'ANGLEJAN, B.F. and E.C. SMITH, 1973. Distribution, transport and composition of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. — *Can. J. Earth Sci.*, 10: 1380-1396.
- D'ANGLEJAN, B.F. and M. BRISBOIS, 1974. First subbottom acoustic reflector and thickness of recent sediment in the Upper Estuary of the St. Lawrence River. — *Can. J. Earth Sci.*, 11: 232-245.
- D'ANGLEJAN, B.F. and R.G. INGRAM, 1976. Time-depth variations in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence estuary. — *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 4: 401-416.
- GORDON, D.C., Jr., and W.H. SUTCLIFFE, JR., 1974. Filtration of seawater using silver filters for particulate nitrogen and carbon analysis. — *Limnol. Oceanogr.*, 19: 989-993.
- GREISMAN, P. and G. INGRAM, 1977. Nutrient distribution in the St. Lawrence Estuary. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2117-2123.
- INGRAM, R.G. and B. D'ANGLEJAN, 1977. On the importance of cross channel suspended sediment flux in the upper St. Lawrence estuary. — *Proc. Symp. Modelling of Transport Mechanisms in Oceans and Lakes*, Burlington, Ontario. Environment Canada, MS N° 43: 149-159.
- IPPEN, A.T., 1966. Sedimentation in estuaries. *In*: A.T. Ippen (ed.), *Estuary and coastline hydrodynamics*: 648-672.
- KARROW, P.F., 1965. The Champlain Sea and its sediments. *In*: Legget, R.F., (Ed.), *Soils in Canada*. — *R. Soc. Can. Spec. Publs*, N° 3. Univ. Toronto Press.
- KRANCK, K., 1973. Flocculation of suspended sediment in the sea. — *Nature*, 246: 348-350.
- KRANCK, K., 1974. The role of flocculation in the transport of particulate pollutants in the marine environment. *In*: *Proc. Int. Conf. Transport of Persistent Chemicals in Aquatic Ecosystem*. National Research Council, Ottawa, Canada.
- KRANCK, K., 1975. Sediment deposition from flocculated suspensions. — *Sedimentology*, 22: 111-123.
- KRONE, R. B., 1972. A field study of flocculation as a factor in estuarine shoaling processes. — *Committee on Tidal Hydraulics*, Corps of Engineers, U.S. Army. *Tech. Bull.* N° 19, 62 p.
- LARSEN, E., 1973. An in situ optical beam attenuation meter. *Report Series/BI-R-73-31*, September 1973. — *Bedford Inst. Oceanogr.*, Dartmouth, N.S., Canada.
- LORING, D.H., 1978. Geochemistry of zinc, copper and lead in the sediments of the estuary and Gulf of St. Lawrence. — *Can. J. Earth Sci.*, 15: (5) 757-772.

- LORING, D.H. and D.J.G. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. — Bull. Fishl Res. Bd Can., N° 182, Fish. Mar. Serv., Ottawa, 147 p.
- LÜNEBURG, H., 1939. Hydrochemische Untersuchungen in der Elbmündung mittel elektrokolorimeter. — Arch. d. Seewarte, 59: 1-27.
- MASSAD, R. et P. BRUNEL, 1979. Associations par stations, densités et diversité des Polychètes du benthos circalittoral et bathyal de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. — Naturaliste can., 106(1): 229-253.
- MEAD, R.H., 1969. Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic Coastal Plain. — J. sedim. Petrol 39: 222-234.
- MEAD, R.H., 1972. Transport and deposition of sediment in estuaries. In: Nelson, B.W. (Ed.), Environmental framework of Coastal Plain Estuaries. — Geol. Soc. America Mem., 133: 91-120.
- NEU, H.J.A., 1970. A study of mixing and circulation in the St. Lawrence Estuary up to 1964. AOL Rep. 1970-9, 31 p. Atlantic Oceanogr. Lab., Bedford Inst. Oceanogr., Dartmouth, N.S., Canada.
- POSTMA, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: G.H. Lauff (Ed.), Estuaries. — Am. Ass. Advmt Sci., Publ. N° 83, Washington, D.C.
- SCHUBEL, J.R., 1968. Suspended sediment of the northern Chesapeake Bay. — Tech. Rep. Chesapeake Bay Inst., 35: 000-000.
- SCHUBEL, J.R. 1971. Some notes on turbidity maxima. In: Schubel, J.R., Convenor the estuarine environment, American Geological Institute Short Course Lecture Notes, Washington, D.C.
- SHOLKOVITZ, E.R., 1976. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of river water and sea water. — Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 831-845.
- SOUICY, A., Y. BERUBE, J.-P. TROUDE et P. MERIC, 1976. Evolution des suspensions et sédiments dans l'Estuaire moyen du Saint-Laurent. — Les cahiers de Centreau, 1 (5): 67, Université Laval, Québec, Canada.

ENVASEMENT DU PORT DE GROS-CACOUNA, SITUÉ DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT¹

Guy FORTIN

*Département d'Océanographie, Université du Québec à Rimouski, Rimouski,
300, Ave. des Ursulines, Rimouski, Québec, G5L 3A1*

et

Georges DRAPEAU

*INRS-Océanologie, Laboratoire océanologique de Rimouski,
310, Ave. des Ursulines, Rimouski, Québec, G5L 3A1*

Résumé

Le port de Gros-Cacouna, situé sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, depuis qu'il a été dragué à une profondeur de 14 mètres en 1968, s'est envasé au rythme de 39 cm/an de 1968 à 1972 et de 31 cm/an de 1972 à 1976. L'accumulation de sédiments se chiffre à $9,6 \times 10^5$ tonnes métriques, soit un envasement moyen de 164 tonnes par cycle de marée semi-diurne. Au cours d'un cycle de marée, le quart des sédiments transportés en suspension demeurent dans le port. Cette proportion est indépendante de la concentration de sédiments en suspension dans l'Estuaire. Au cours d'un cycle de marée, le transport résiduel des suspensoïdes à l'intérieur du port est de 13,1 tonnes en mai et de 3,5 tonnes en septembre. Ces quantités mesurées sont inférieures à l'accumulation de sédiments fins déposés dans le port de 1968 à 1976. D'autre part le transport littoral dans la zone intertidale est à peu près inexistant. Le transport infratidal par charriage est donc un processus important de la sédimentation portuaire; il est relié à des courants de fond de l'ordre de 40 à 50 cm/sec.

Abstract

The port of Gros Cacouna located on the south shore of the St. Lawrence Estuary is silting since it was dredged at a depth of 14 metres in 1968, at the rate of 39 cm/yr from 1968 to 1972 and 31 cm/yr from 1968 to 1976. The accumulation of sediments amounts to $9,6 \times 10^5$ metric tons, that is an average siltation of 164 tons per semi-diurnal cycle. During one tidal cycle, one quarter of the sediments transported in suspension remain in the port. That ratio remains the same independantly of the concentration of suspended sediments in the Estuary. During one tidal cycle, the residual transport of suspensoïds inside the port was 13,1 tons in May and 3,5 tons in September. These measured quantities are less than the total amount of fine sediments that sedimented in the port. On the other hand, the littoral drift in the intertidal zone is negligible. Bottom load transport in the infralittoral zone is then an important process of sedimentation in the port; it is related to bottom currents of the order of 40 to 50 cm/sec.

Introduction

Le port de Gros-Cacouna est situé dans la section amont de l'estuaire maritime du Saint-Laurent (47°55'42" N, 69°31'12" W), en face de l'embouchure du Saguenay, soit à environ 230 kilomètres en aval de Québec et 14 kilomètres en aval de Rivière-du-Loup (fig. 1). Il est construit sur la pointe sud-ouest de l'île de Gros-Cacouna sise en face du vil-

lage de Cacouna. Ce port, construit il y a une dizaine d'années, n'étant pas encore en opération, il a pu servir de modèle physique hydraulique pour mener des expériences à l'échelle 1:1.

Des recherches antérieures (E.R.S.L., 1973) avaient révélé des concentrations relativement fortes de sédiments en suspension (10 à 19 mg/l) et la présence de courants

¹ Recherche subventionnée par le Conseil National de la Recherche du Canada (Subvention A-8862).

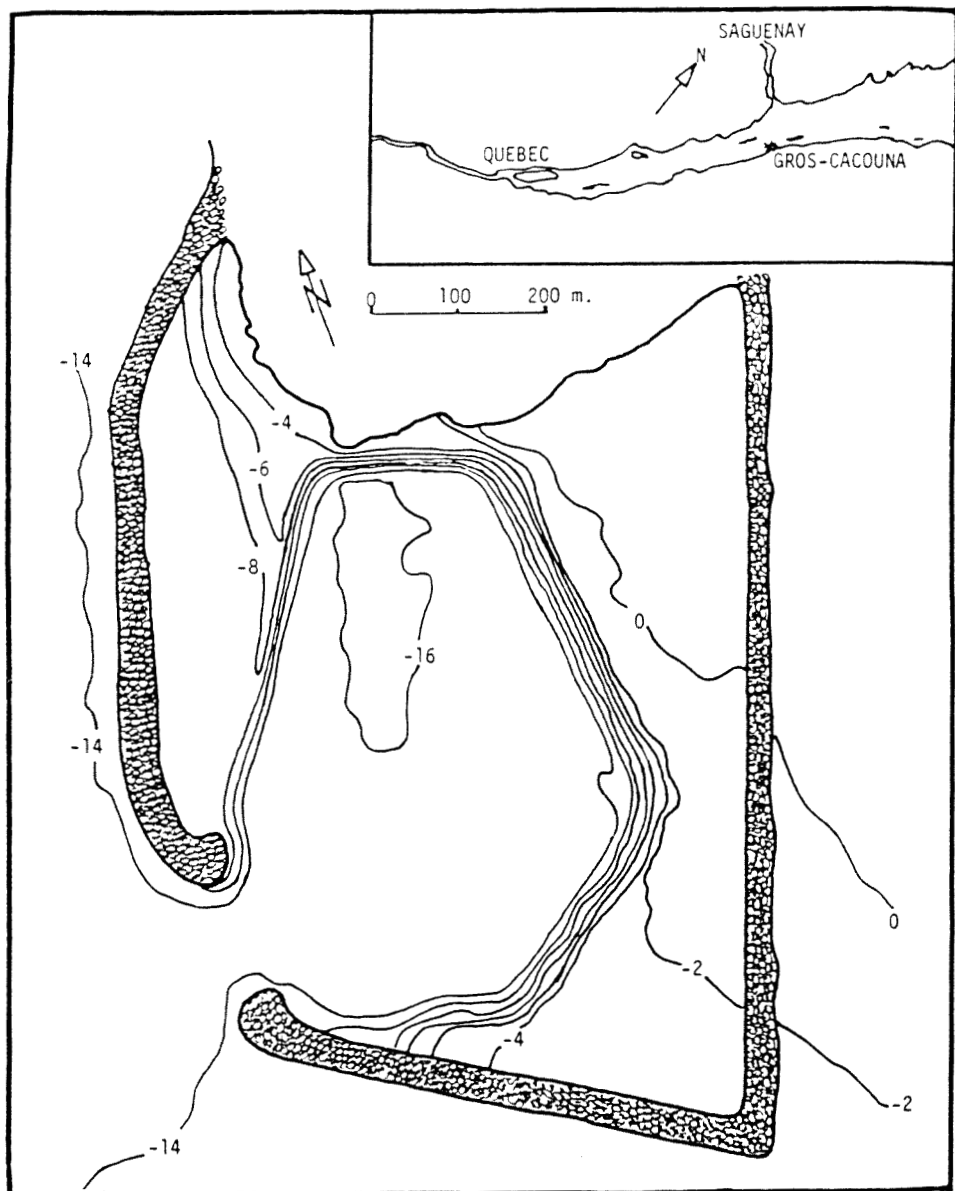


Figure 1. Localisation et bathymétrie du port de Gros-Cacouna. Les isobathes tracées à intervalles de 2 mètres réfèrent au plus bas niveau de la marée. Ces contours bathymétriques mettent en évidence le bassin de forme trapézoïdale creusé à une profondeur de -14 mètres.

faibles à l'intérieur du port, qui créaient des conditions favorables à l'envasement du bassin dragué en 1968. Par contre, dans la zone de l'estran le transport littoral est négligeable dans la région de Gros-Cacouna.

La présente contribution a pour but de faire connaître les résultats de profils séismiques effectués dans le bassin dragué à l'inté-

rieur du port et d'établir un modèle quantitatif du transport des sédiments en suspension à l'entrée du port.

Appareils et méthodes

Deux campagnes de mesures furent organisées de façon à rencontrer des condi-

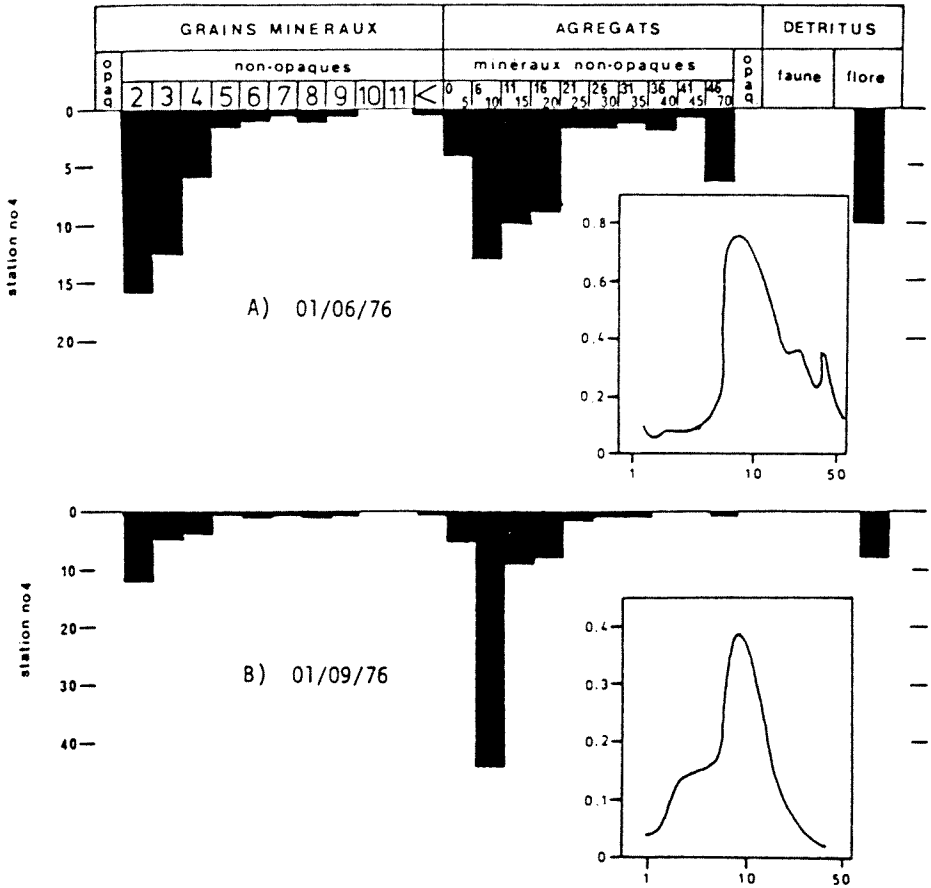


Figure 2. Histogrammes illustrant les différents constituants (pourcentages) de la matière particulaire en suspension recueillie à une profondeur de 5 mètres à l'entrée du port: A) 1^{er} juin 1976 et B) 1^{er} septembre 1976.

tions saisonnières différentes, soit des conditions de forte turbidité (mission du 31 mai au 4 juin 1976) et de faible turbidité (mission du 30 août au 3 septembre 1976) des eaux de l'estuaire du Saint-Laurent dans la région de Cacouna. Au cours de chaque mission des mesures précises de salinité, température et turbidité des eaux, ainsi que de vitesse et de direction des courants furent prises à l'extérieur, à l'entrée et à l'intérieur du port (fig. 2). Ces mesures furent effectuées à tous les deux mètres de profondeur et répétées toutes les heures (demi-heures au printemps) pendant des cycles complets de marées à l'entrée du port et pour des périodes plus courtes à l'intérieur et à l'extérieur du port. On a utilisé un CSTD Inter Ocean modèle 513D mesurant la température à $\pm 0,02^\circ \text{C}$, la conductivité à $\pm 0,02$

mmhos/cm et la profondeur à $\pm 25 \text{ cm}$. Les échantillons d'eau furent prélevés à l'aide de bouteilles Niskin et les sédiments du fond au moyen d'une benne de type Van Veen de 0,01 mètre cube (fig. 3).

La concentration des particules en suspension fut déterminée sur place au printemps par transmissibilité à l'aide d'un turbidimètre Inter-Ocean (modèle 513). L'appareil avait été préalablement calibré pour cette opération spécifique. Les tests de calibration ont montré que le pourcentage de transmissibilité d'un faisceau de 10 cm était directement relié à la concentration de matière en suspension en autant que celle-ci se situe entre 10 et 100 mg/l. Au cours de la deuxième mission, la concentration de matière en suspension s'est révélée trop faible

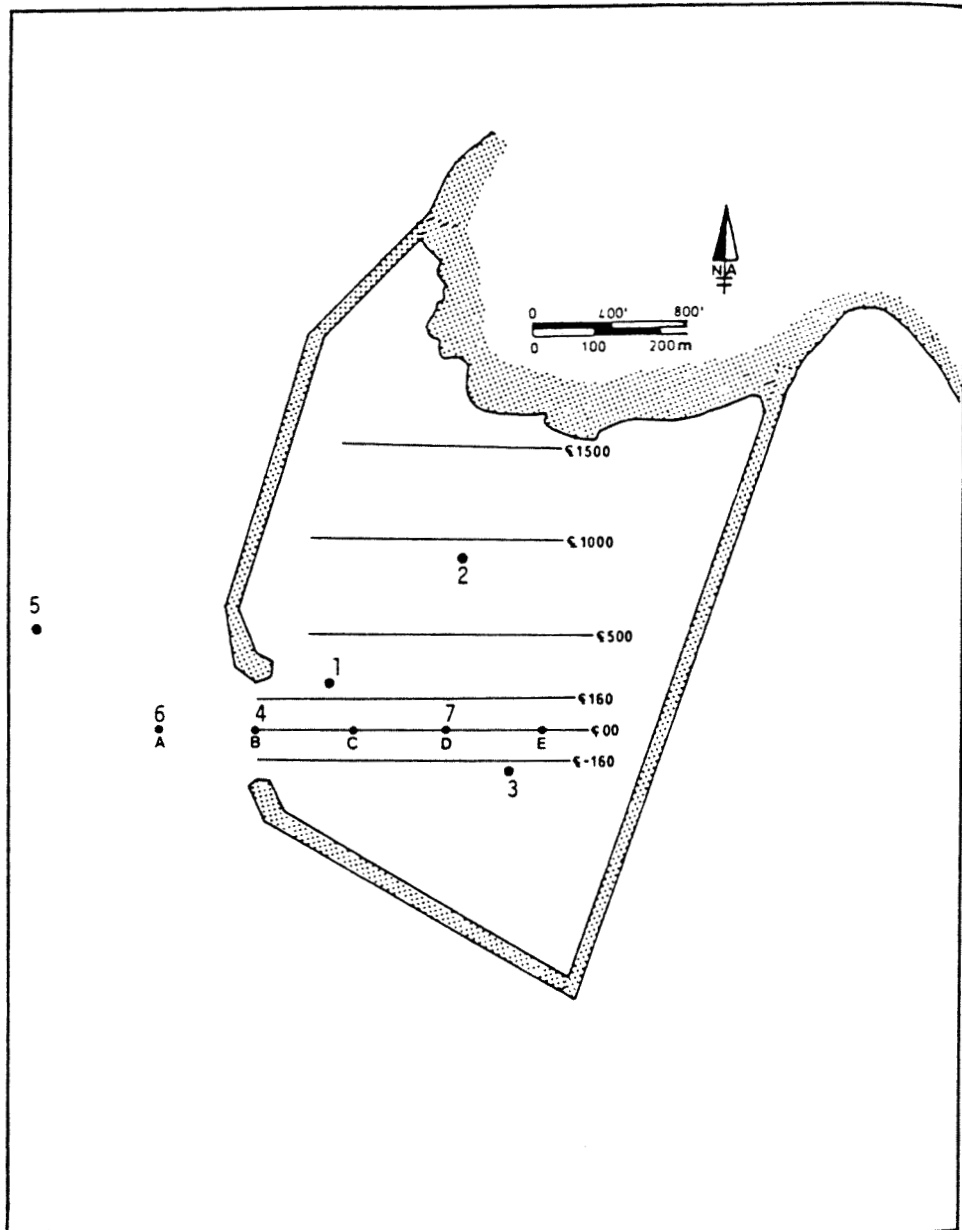


Figure 3. Localisation des profils sismiques, des échantillons de sédiments de fond et des stations fixes de mesures. Les profils sismiques sont indiqués par des lignes, les échantillons de fond par des lettres et les stations par des chiffres.

pour employer le même turbidimètre. La concentration de sédiments en suspension fut déterminée par filtration gravimétrique sur filtre Nucléopore de 0,45 micron d'un volume de 250 millilitres d'eau sous une succion de 1 kg cm^{-2} . Les échantillons de

sédiments en suspension furent également analysés au compteur de particules (Coulter Counter, modèle Ta) afin de déterminer les spectres de taille. La granulométrie des sédiments de fond fut déterminée par tamisage et par hydrométrie (A.S.T.M., 1964).

La vitesse des courants fut mesurée à l'aide d'un courantomètre Hydro Products (modèle 651B). Cet appareil transmet les mesures en continu, ce qui permet de faire une analyse fine des variations de courants en fonction de la profondeur. Les mesures de courants furent enregistrées à tous les deux mètres de profondeur à toutes les 30 minutes au printemps, et à toutes les heures à l'automne. Comme les variations de vitesse du courant pouvaient être observées en continu à bord du navire, les mesures enregistrées sont les plus significatives pour chaque profil observé.

Le calcul des masses d'eau entrant et sortant du port fut établi à partir des mesures de courants d'une part et d'autre part en calculant les volumes d'eau qui doivent entrer et sortir du port pour répondre aux dénivellations de la marée. Ces calculs ont été effectués en mesurant la variation du niveau d'eau et la superficie du plan d'eau du port à différentes phases de la marée. On a pu de la sorte déterminer très précisément les débits correspondant à chacun des vecteurs de courant perpendiculaires à l'entrée du port obtenus pour chacune des mesures de courants à différentes profondeurs répétées à intervalles réguliers durant le cycle d'une marée.

Des profils séismiques en réflexion continue à la fréquence de 7 khz furent enregistrés à l'aide d'un profileur séismique Edo Western, (modèle 515 Acoustic Sub-Bottom Profiling System). Ces relevés furent menés parallèlement à l'axe d'entrée du port en utilisant les repères qui avaient servi à des travaux antérieurs (fig. 3). Ces profils sont juxtaposés à ceux de 1971 et 1972 pour déterminer l'accumulation de sédiments dans le port (fig. 3).

Résultats

MODÈLE DE TRANSPORT DES SÉDIMENTS EN SUSPENSION

Les courants à l'extérieur et à l'entrée du port de Gros-Cacouna sont directement reliés à la marée. Ils sont caractérisés par une circulation à deux couches qui détermine leur régime à l'entrée du port. Ces conditions hydrodynamiques particulières, caractérisées par une circulation à deux couches en direction opposées, font que le volume total d'eau qui entre et sort du port au cours d'une marée est de quelque 50 pour cent supérieur au volume net corres-

pondant au seul changement de niveau de marée dans le port (Drapeau et Fortin, 1978).

Un modèle quantitatif du transport des sédiments en suspension a pu être établi grâce à la calibration des débits tel qu'expliquée précédemment. En effet, une évaluation du transport des sédiments n'est valable que si les débits peuvent être déterminés avec précision, autrement les mesures de transport net représentent autant l'erreur inhérente aux mesures de débits (basées seulement sur des mesures de courantomètres) que le transfert réel de sédiments vers l'intérieur ou l'extérieur du port. Les tableaux I et II montrent les résultats obtenus à partir des mesures effectuées au cours des missions de juin et de septembre 1976.

NATURE DES SÉDIMENTS EN SUSPENSION

La nature des sédiments en suspension fut déterminée par une étude au microscope d'échantillons d'eau prélevés au printemps et en automne. Les échantillons prélevés au cours des deux missions sont assez semblables. Des agrégats de minéraux translucides sont les principaux constituants des particules en suspension. Ces agrégats très lâches et de morphologie complexe, ils sont principalement composés de grains minéraux translucides (1 à 10 microns) reliés par une trame (voile) de matière organique, dans laquelle il est parfois possible de reconnaître des débris de faune et de flore marines. La taille de ces agrégats peut varier de quelques microns à plus de 70 microns de diamètre avec un mode généralement de l'ordre de 5 à 10 microns. Au printemps, la répartition par classes de tailles des agrégats est plus étendue qu'en automne; au cours de cette période, les agrégats sont en majeure partie regroupés dans une classe de 6 à 10 microns (fig. 4).

Les grains minéraux translucides représentent la majeure partie des particules en suspension. La taille de ces grains varie entre 2 et 10 microns et prédomine dans les classes de 2 à 5 microns.

Le contenu en matière organique (faune et flore) est légèrement plus élevé au printemps (7-10%) qu'en automne (5-8%). Ces mesures de la matière organique observée au microscope ne sont toutefois pas aussi précises que si le contenu en matière organique avait été déterminé par combustion.

Au printemps, les histogrammes obtenus lors des examens microscopiques ne reflètent que partiellement la répartition des par-

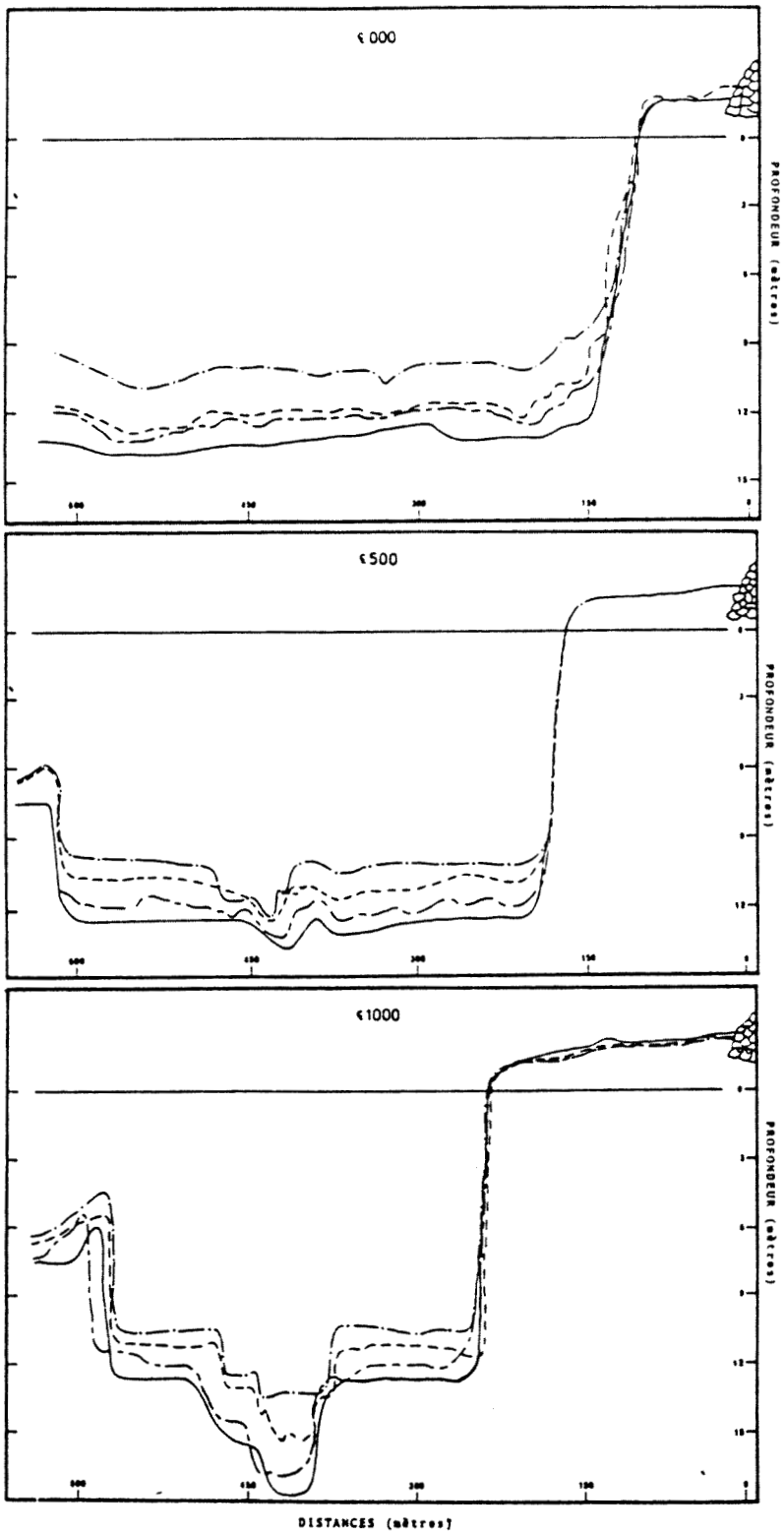


Figure 4. Profils du bassin enregistrés sur les lignes CL 000, CL 500 et CL 1000. Les profils sont identifiés de la façon suivante : 1968 : - - - - ; 1971 : - · - · - ; 1972 : ——— ; 1976 : - - - - .

TABLEAU I

Transport de sédiments en suspension à l'entrée du port
au cours d'une marée le 1^{er} juin 1976

<i>Intervalle (HAE)</i>	<i>Débit (M³)</i>	<i>Transport (Kg)</i>	<i>Transport total (Kg)</i>	<i>Transport net (Kg)</i>
07:36-08:06	-200 703	-5 193		
08:06-08:35	-238 180	-6 259		
08:35-09:00	-193 425	-4 532		
09:00-09:30	-246 483	-6 192		
09:30-10:00	-218 451	-6 195	-41 060	
10:00-10:24	-140 583	-3 894		
10:24-11:00	-147 824	-4 077		
11:00-11:27	-95 877	-2 415		
11:27-11:58	-71 095	-2 303		
11:58-12:27	0	458		13 138
12:27-12:58	46 339	2 146		
12:58-13:30	74 031	2 578		
13:30-13:56	102 431	3 782		
13:56-14:27	197 189	7 815		
14:27-14:59	201 805	8 820		
14:59-15:28	192 771	7 048	54 198	
15:28-15:57	208 037	7 344		
15:57-16:26	184 748	6 023		
16:26-16:56	143 307	4 375		
16:56-17:27	132 198	4 155		
17:27-18:00	67 711	-346		

Les débits nets des masses d'eau franchissant l'entrée du port sont indiqués en mètres cubes pour des intervalles d'environ 30 minutes. Le transport correspondant de sédiments en suspension est indiqué en kilogrammes. Les signes négatifs (-) indiquent un déplacement vers l'extérieur du port et les signes positifs (+) l'intérieur. La quatrième colonne donne les quantités totales de sédiments transportés au cours de la marée baissante et de la marée montante. Le transport net au cours d'une marée est inscrit dans la cinquième colonne.

TABLEAU II

Transport de sédiments en suspension à l'entrée du port
au cours d'une marée le 1^{er} septembre 1976

<i>Intervalle (HAE)</i>	<i>Débit (M³)</i>	<i>Transport (Kg)</i>	<i>Transport total (Kg)</i>	<i>Transport net (Kg)</i>
08:55-09:25	-32 211	-275		
09:25-10:27	-225 477	-1624		
10:27-11:24	-385 117	-3628		
11:24-12:23	-278 740	-2422	-10 346	
12:23-13:23	-219 119	-1716		
13:23-14:25	-111 586	-681		3 466
14:25-15:26	13 806	350		
15:26-16:24	169 010	1680	13 812	
16:24-17:24	317 468	2487		
17:24-18:26	430 722	5971		
18:26-19:37	322 111	3324		

Les débits nets des masses d'eau franchissant l'entrée du port sont indiqués en mètres cubes pour des intervalles d'environ une heure. Le transport correspondant de sédiments en suspension est indiqué en kilogrammes. Les signes négatifs (-) indiquent un déplacement vers l'extérieur du port et les signes positifs (+) l'intérieur. La quatrième colonne donne les quantités totales de sédiments transportés au cours de la marée baissante et de la marée montante. Le transport net au cours d'une marée est inscrit dans la cinquième colonne.

ticules inorganiques obtenue par compteur de particules. On observe généralement un pic près de 50 microns dans les répartitions de tailles des particules provenant d'analyse faites au compteur Coulter (fig. 4a). Ce pic peut s'expliquer par la présence de phytoplancton (Diatomées) observé dans les échantillons. Les échantillons provenant des stations 1 et 4 ne contiennent que quelques individus, mais l'échantillon de la station 5 révèle une population importante de Diatomées.

En automne, les histogrammes concordent bien avec les spectres de particules obtenus au compteur Coulter. La nature de la matière particulaire est essentiellement similaire à celle du printemps, (fig. 4b) mais les concentrations sont beaucoup plus faibles. Le spectre des tailles de particules est très étroit et les modes sont peu variables. Le pic caractéristique de la présence de phytoplancton n'a pas été observé ni par microscopie, ni par compteur de particules.

SÉDIMENTATION DANS LE PORT DEPUIS LE DRAGAGE DE 1968

Des six lignes sismiques couvrant le bassin dragué en 1968, trois sections représentées par les lignes CL 000, CL 500 et CL 1000 (figs 3 et 4) furent l'objet de sondages antérieurs: mai 1968, juin 1971 et 1972 et septembre 1976. Ces différents profils, établis pour des intervalles de temps variables, permettent de suivre l'évolution sédimentologique du bassin caractérisé par une accumulation importante de sédiments de quelque 35 centimètres par année de 1968 à 1976 (figs 3 et 4).

Ces profils sismiques permettent d'évaluer la quantité de sédiments déposés dans le port depuis les opérations de dragage menées en 1968. Pour calculer la quantité de sédiments accumulés, la fosse draguée a été subdivisée en plusieurs zones (fig. 5) caractérisées par une épaisseur moyenne de sédiments déterminée au moyen des profils sismiques réalisés en 1976. Le volume des dépôts dans chaque zone est calculé en considérant la superficie de la zone et l'épaisseur moyenne des sédiments (tableau III). On retrouve aussi sur le même tableau les volumes de sédiments déposés dans le bassin du port en 1972. L'accumulation qui était de l'ordre de 314 700 mètres cubes en 1972 a presque doublé en 1976 pour atteindre quelque 563 500 mètres cubes.

Le poids spécifique de la couche superficielle de sédiments a été déterminé en laboratoire et les résultats convergent vers une valeur de $1,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Ces données ont permis de calculer l'équivalent en poids des volumes de sédiments déposés dans le bassin du port. Ces données apparaissent au tableau III.

Le taux d'envasement dans le port s'établit comme suit:

	Volume ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Superficie ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Envasement (cm/n)
1968-72	314,7	200	39
1972-76	248,8	200	31
1968-76	563,5	200	35

TEXTURE DES SÉDIMENTS DE FOND

La texture des sédiments de fond est représentée par une série d'échantillons prélevés le long de l'axe d'entrée du port (fig. 3). Les principales caractéristiques granulométriques de ces échantillons apparaissent au tableau IV. La texture des sédiments devient de plus en plus fine vers l'intérieur du port. Les travaux dans le cadre de l'Étude des rives du Saint-Laurent en 1972, basés sur un échantillonnage plus complet, arrivaient aux mêmes conclusions.

TRANSPORT EN SUSPENSION DES SÉDIMENTS ACCUMULÉS DANS LE PORT

L'analyse des sédiments en suspension illustrée à la figure 2 montre que les grains minéraux échantillonnés mesurent de 2 à 4 microns. On peut calculer la proportion des sédiments de cette taille qui se sont accumulés dans le port depuis 1968 en se basant sur la répartition illustrée à la figure 5. Ces calculs apparaissent au tableau III et montrent que l'accumulation totale de sédiments est de $958 \times 10^3 \text{ t}$ et que ceux-ci contiennent $268 \times 10^3 \text{ t}$ d'argile.

Discussion

PRÉCISION ET LIMITE DU MODÈLE DE TRANSPORT DE SÉDIMENTS EN SUSPENSION

La mesure du débit des masses d'eau qui entrent et sortent du port est très précise. Les changements de volume d'eau dans le port en fonction de la marée sont calculés avec une précision de l'ordre de 0,1%.

Les limites du modèle sont surtout imposées par la durée relativement courte des

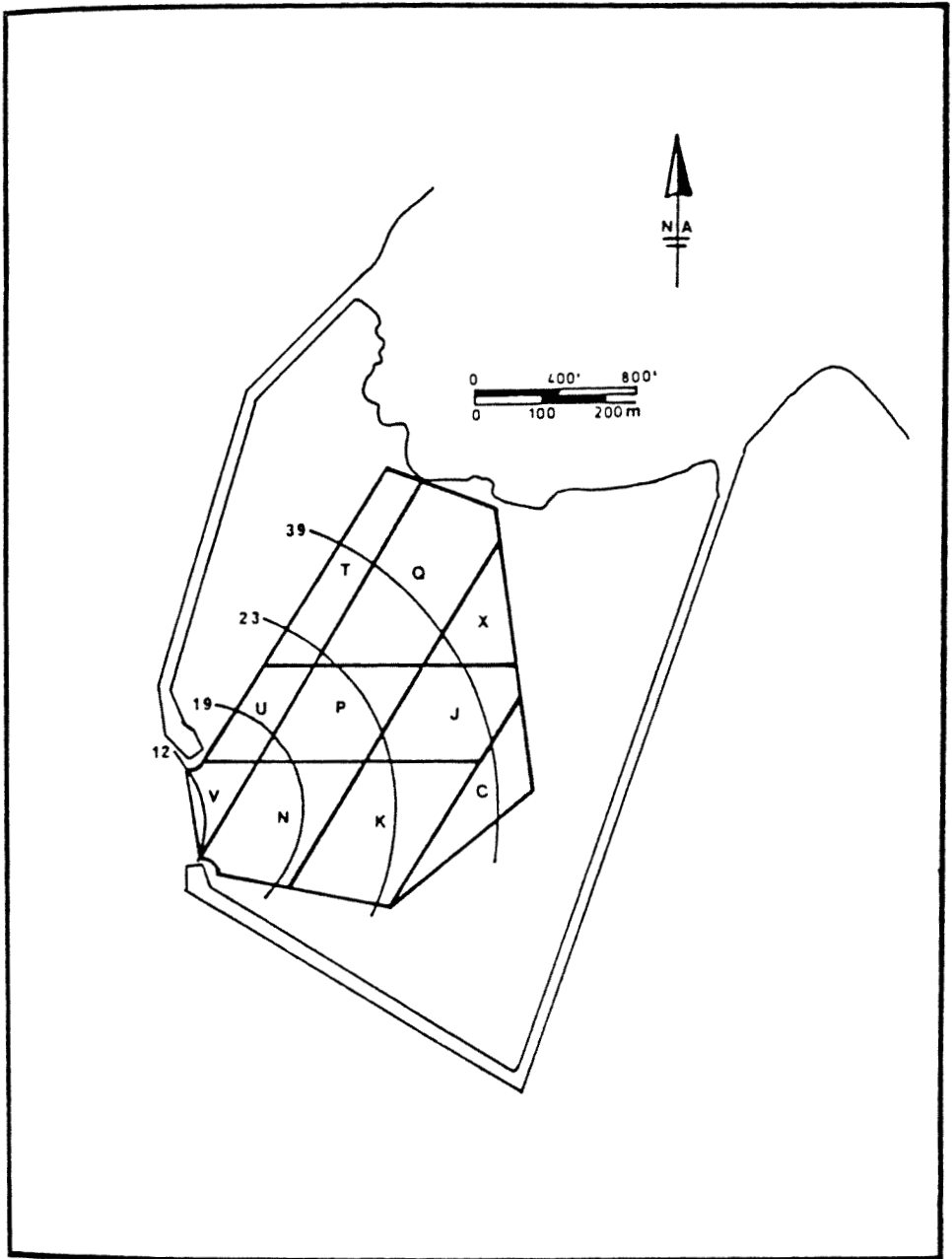


Figure 5. Subdivisions du bassin dragué en 1968 dans le port. Les segments de cercles montrent la concentration (pourcentage) en particules fines ($< 4 \mu\text{m}$) des sédiments déposés dans le bassin depuis 1968.

expériences par rapport à la complexité du phénomène de la marée dans la région de Gros-Cacouna. La marée à Gros-Cacouna est à prédominance semi-diurne bien que la

différence puisse être assez marquée entre la marée de jour et la marée de nuit. Cette différence peut atteindre un mètre au cours des marées de vive-eau. L'amplitude de la

TABLEAU III

Volume de sédiments déposés dans le bassin du port. Ce tableau réfère aux zones du bassin délimitées sur la figure 5.

Zone	Superficie de la zone (m ²) (× 10 ⁴)	Épaisseur des dépôts (m)	Volume des dépôts (m ³) (× 10 ⁴)	Poids des dépôts (t) (× 10 ⁴)	Argile %	Poids des dépôts argileux (t) (× 10 ⁴)	ERSL	
							Épaisseur des dépôts (m)	Volume des dépôts (m ³) (× 10 ⁴)
V	2,0	1,20	2,40	4,08	12	0,49	1,0	1,2
N	3,4	3,55	12,07	20,52	19	3,90	1,7	6,03
K	2,1	4,41	9,26	15,74	23	3,62	0,9	3,97
C	2,3	2,00	4,60	7,82	39	3,05	1,2	2,4
J	2,4	2,33	5,59	9,50	35	3,33	2,2	5,13
P	1,2	2,30	2,76	4,69	22	1,03	1,0	2,30
U	2,4	0,82	1,97	3,35	20	0,67	1,2	0,98
T	2,1	1,86	3,91	6,65	26	1,73	1,15	2,14
Q	3,0	3,93	11,79	20,04	37	7,41	1,5	5,90
X	2,1	0,95	2,0	3,40	45	1,53	1,5	1,42
Total			56,35	95,79		26,76		31,47

TABLEAU IV

Composition granulométrique des sédiments de fond. L'identification alphabétique des échantillons réfère à la figure 3.

Échantillon	Gravier %	Sable %	Silt %	Argile %	Diamètre moyen (microns)	Tri (microns)	Teneur en eau %
A	1	99	0	0	270	48	—
B	0	67	21	12	69	51	38
C	0	51	30	19	51	50	42
D	0	40	37	23	52	47	49
E	0	15	46	39	29	21	58

marée varie de 1,5 mètre durant les marées de morte-eau à 4,7 mètres durant les marées de vive-eau.

DÉPOSITION DES SÉDIMENTS EN SUSPENSION DANS LE PORT

Lors des mesures de juin, le marnage était de 2,9 mètres et créait un déplacement net de $1,55 \times 10^6$ m³ d'eau dans le port. En septembre, le marnage était de 2,5 mètres et le déplacement d'eau de $1,25 \times 10^6$ m³. Au cours du cycle tidal étudié en juin, 54,2 t de sédiments en suspension sont entrés dans le port durant le flot tandis que seulement 41,1 t en sont ressorties durant l'effet de jusant; 13,1 t de matières se sont donc sédimentées dans le système (tableau I). Les expériences menées au début de juin correspondaient à une période de forte turbidité estuarienne. Au début de septembre, la

campagne de prélèvements correspondait à une période de faible turbidité, le transport en suspension résultant fut par conséquent beaucoup moins intense (tableau II). En automne, le transport net pour un cycle tidal de même marnage qu'en juin, fut de 3,5 t.

En septembre, le bilan des sédiments transportés en suspension est 4 fois plus faible qu'en mai. Le « coefficient de transfert » est cependant essentiellement le même dans les deux cas :

$$\begin{aligned} \text{Juin:} & \quad 13138/54198 = 0,24 \\ \text{Septembre:} & \quad 3466/13182 = 0,25 \end{aligned}$$

Le processus de sédimentation des particules en suspension est donc directement lié à la concentration de sédiments en suspension dans l'Estuaire. Les expériences menées dans le port de Gros-Cacouna n'ont pas permis cependant d'établir le bilan du

transport net qui pourrait résulter de la différence des marées successives de jour et de nuit, ni des différences entre les marées de vive-eau et de morte-eau.

SÉDIMENTATION « MOYENNE » PAR CYCLE DE MARÉE

Lors des mesures effectuées en 1976 la sédimentation se poursuivait dans le bassin du port depuis 8 ans. Le calcul de la sédimentation « moyenne » par cycle de marée en se basant sur les données compilées au tableau III est de 164 tonnes par cycle.

Une proportion importante des sédiments déposés dans le port sont trop grossiers (tableau IV) pour être transportés en suspension. Pour fins de comparaison avec le modèle de transport en suspension il est donc plus juste de comparer les quantités déterminées par le modèle avec la fraction fine des sédiments déposés dans le bassin. Pour ce faire, il faut se référer aux données de la dernière colonne du tableau III où sont calculées les proportions de sédiments fins ($< 4 \mu\text{m}$) accumulés dans le bassin. En se basant sur ces données, l'accumulation « moyenne » de sédiments de la taille des argiles seraient de 45,8 tonnes par cycle.

ÉCART ENTRE LE TRANSPORT EN SUSPENSION MESURÉ ET L'ACCUMULATION DE SÉDIMENTS FINS DANS LE PORT

L'accumulation des sédiments fins dans le port est nettement supérieure à ce que le modèle de transport basé sur un cycle de marée au printemps et à l'automne est en mesure de prédire. Comme le transport en suspension mesuré 13,1 t en juin est inférieur à l'accumulation observée 45,8 t, il existe donc des processus de transport plus efficaces que ceux qui étaient en cours pendant les expériences de juin et de septembre 1976.

Concentration des sédiments en suspension

Le transport net de sédiments en suspension dans le port (coefficient de transfert 0,25) est directement relié à la concentration de sédiments en suspension dans l'Estuaire. Cette concentration varie beaucoup dans la région de Gros-Cacouna; avec les saisons d'une part et d'autre part à cause du gradient de concentration qui est très prononcé entre le Saguenay et l'île d'Orléans (Poulet et Chanut, 1978). La charge de sédiments en suspension peut être beaucoup plus élevée en

avril-mai qu'au cours de la campagne de prélèvement réalisée au début de juin.

Inégalité des marées

La différence de hauteur entre deux marées consécutives (jour-nuit), qui peut atteindre plus d'un mètre, permet à certaines masses d'eau de séjourner plus longtemps dans le port. À ceci peut aussi se superposer les variations entre les marées de vive-eau et les marées de morte-eau.

Désintégration des bords du bassin

Le bassin du port a été creusé à une profondeur de 12 à 14 mètres dans des sédiments meubles fins (probablement glaciomarins de la mer de Golthwait). Les pentes abruptes du bassin, atteignant jusqu'à 45 degrés, constituent une source de matériel fin mis en suspension par l'action érosive de la mer. Elles sont peut-être aussi affectées par des glissements mineurs.

TRANSPORT PRÈS DU FOND ET TRANSPORT AU-DESSUS DU FOND

Des profils de température, de salinité, de vitesse et de direction du courant à l'extérieur du port (stations 5 et 6) ont mis en évidence une circulation stratifiée des eaux caractéristique du milieu estuarien. Le maximum de concentration et de transport de sédiments se trouvent à mi-profondeur et près de la surface plutôt que près du fond. Ces conditions prévalent aussi à l'entrée du port (Drapeau et Fortin, 1978), et à quelques kilomètres au large de Gros-Cacouna (D'Anglejan et Ingram, 1976).

S'il existait des courants de densité de moins de 50 cm d'épaisseur entraînant des particules fines dans le port de Gros-Cacouna, ils n'ont pu être identifiés d'une façon systématique. Les appareils utilisés ne permettaient pas de prendre des mesures à une profondeur inférieure à 50 cm au-dessus du fond parce qu'il fallait éviter de toucher le fond et de remettre les sédiments en suspension.

CHARRIAGE

Bien que le but des recherches poursuivies à Gros-Cacouna n'ait pas été l'étude du transport de fond, les résultats démontrent quand même qu'une partie importante des sédiments accumulés dans le bassin depuis 1968 n'ont pas été transportés en suspension, car ils sont trop grossiers (cf. tableau IV

et figure 5). Par contre, le transport littoral dans la zone intertidale est à toute fin pratique inexistant dans la région de Gros-Cacouna. Il existe donc dans la zone infratidale des processus de transport de fond plus importants encore que le transport en suspension.

Une approche quantitative du transport de fond a été élaborée par Gadd *et al.* (1978) en adaptant les équations de transport de Bagnold (1941, 1956, 1963), Einstein (1950) et Yalin (1963). Les conditions initiales posées sont que l'action des vagues est négligeable et que le coefficient de frottement a une valeur de 3×10^{-3} . Cette valeur correspond à une rugosité du fond de petite échelle et à des valeurs élevées du nombre de Reynolds à l'interface eau-sédiment. Dans de telles conditions les courants de fond mesurés peuvent être transformés en vitesses de friction. On prend pour acquis d'autre part que les seuils de vitesses de transport de fond observés en laboratoire sont représentatifs du milieu marin.

Les conditions environnementales stipulées par Gadd *et al.* (1978) au large de New York sont applicables, du moins en première approximation, à la région de Gros-Cacouna. L'équation utilisée par Gadd *et al.* (1978) est :

$$q = \beta_{\phi} (U_{100} - U_{th})^3$$

q : Transport de fond (gm cm⁻¹ sec⁻¹)

β_{ϕ} : Coefficient de proportionnalité déterminé pour différentes tailles de particules ($q / (U_{100} - U_{th})^3$)

U_{100} : Vitesse du courant 100 cm au-dessus du fond (cm/sec)

U_{th} : Seuil de vitesse de transport de fond (cm/sec)

D'après les données de Guy *et al.* (1966) le coefficient β_{18} a une valeur moyenne de $7,22 \times 10^{-5}$ pour des sédiments de diamètre de 0,18 mm. Le seuil de vitesse de transport (U_{th}) pour des sédiments de cette taille est évalué à 16 cm/sec (Gadd *et al.* 1978, tableau I). Ces valeurs conviennent pour les sédiments de fond du port de Gros-Cacouna (cf. tableau IV).

Le tableau V donne pour les missions de juin et septembre 1976 les vitesses de courants près du fond pour différentes phases de la marée, l'indice de transport basé sur un seuil de transport de 16 cm/sec et la quantité de sédiments pénétrant dans le port pour une période de 30 minutes. Ces données montrent qu'indépendamment des constantes choisies le transport de fond est épisodique. Le tableau V illustre aussi une autre particularité du transport de fond qui est relié à un seuil de vitesse d'une part,

mais il montre surtout que le transport augmente exponentiellement (cube) en fonction de la vitesse. En fait le transport de fond devient important lorsque le courant atteint 43 cm/sec.

Le modèle de transport en suspension élaboré dans cette étude répartit le transport moyen par cycle de marée entre 45 tonnes de matériel transporté en suspension et 120 tonnes de sédiments charriés sur le fond. En se référant toujours à des moyennes il faudrait que le courant de fond maximum mesuré de 43 cm/sec dure 2,3 heures par cycle. Par contre pour des vitesses de courant de fond de 50 cm/sec le charriage à l'entrée du port atteint 100 tonnes/heure.

Conclusions

Les expériences réalisées dans le cadre de cette étude ont pu être menées dans des conditions particulières du fait que le port de Gros-Cacouna n'était pas utilisé pour la navigation. Le port a servi d'immense modèle hydraulique où des expériences ont pu être réalisées à l'échelle 1:1. Les expériences de transport de sédiments sont habituellement menées soit en modèle hydraulique à échelle réduite ou soit encore dans des conditions naturelles où les débits ne peuvent être contrôlés.

Les sédiments accumulés dans le port de 1968 à 1976 sont une mesure précise du transport de sédiments dans la région de Gros-Cacouna. Le modèle de transport élaboré a pu ainsi être calibré en fonction de quantités réelles.

Le transport moyen est de l'ordre de 165 tonnes par cycle de marée semi-diurne réparti entre 45 tonnes de sédiments transportés en suspension et 120 tonnes par charriage. L'accumulation de 1968 à 1972 et de 1972 à 1976 montre une certaine diminution du taux de sédimentation. Il faudrait cependant au moins une autre série de mesures pour évaluer le temps nécessaire au remplissage naturel du port.

Le charriage devrait être investigué davantage. Les mesures préliminaires élaborées dans cette étude permettent seulement de circonscrire le problème. Un meilleur échantillonnage des courants et des sédiments de fond permettrait de mieux déterminer les processus de charriage dans la région de Gros-Cacouna. La région du port se prêterait particulièrement bien à l'utilisation de traceurs sédimentologiques (particulièrement de traceurs radioactifs).

TABLEAU V

Charriage des sédiments dans le port de Gros-Cacouna basé sur des mesures de courant durant un cycle de marée le 1^{er} juin et le 1^{er} septembre 1976. Les quantités de transport sont établies en utilisant des coefficients déterminés par Gadd *et al.*, (1978)

Heure (HAE)	Station	Vitesse V (cm/sec)	Direction + : Int - : Ext	Indice de transport (V-16) ³	Transport Q 30 min. (kg/30 min)
1 juin 1976					
7:20	1	14,9	-		
7:52	2	21,1	-	132,7	172,5
8:31	3	24,2	-	551,3	716,7
8:52	4	16,9	-	0,73	0,95
9:21	5	14,9	-		
9:51	6	16,5	-	0,12	0,16
10:17	7	18,5	-	15,6	20,3
10:52	8	14,9	-		
11:15	9	10,3	-		
11:47	10	5,7	-		
12:18	11	12,4	-		
12:47	12	9,3	-		
13:27	13	9,3	+		
13:48	14	4,1	+		
14:18	15	16,5	+	0,12	0,16
14:50	16	10,3	-		
15:18	17	8,2	+		
15:51	18	1,0	-		
16:10	19	11,8	+		
16:50	20	20,6	+	97,3	126,5
17:16	21	20,6	+	97,3	126,5
17:55	22	43,2	+	20124	26161
18:26	23	4,1	+		
18:53	24	21,6	+	175,6	228,3
19:26	25	9,0	+		
1 septembre 1976					
8:15	27	6,2	+		
9:07	28	19,6	+	46,7	60,7
10:08	29	9,3	+		
11:03	30	7,2	-		
12:00	31	16,0	-		
12:58	32	6,7	-		
14:00	33	11,3	-		
15:02	34	12,4	-		
16:00	35	10,8	-		
16:59	36	3,1	+		
18:00	37	10,3	-		
19:02	38	10,3	-		
19:37	39	6,2	-		

L'utilisation du port de Gros-Cacouna comme modèle sédimentologique a permis en définitive de souligner l'importance du transport des sédiments dans cette région de l'estuaire du Saint-Laurent. Il y existe un équilibre dynamique qui, lorsque rompu, entraîne le dépôt de très grandes quantités de sédiments.

Références

- A.S.T.M., 1964. American Society for Testing Materials: Procedure for testing soils. — ASTM Committee, D-18, 535 p.
- D'ANGLEJAN, B. and R. G. INGRAM, 1976. Time-depth variations in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. — *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 4: 401-416.

- BAGNOLD, R. A., 1941. The physics of blown sand and desert dunes. — Methuen and Company, London, 265 p.
- BAGNOLD, R. A., 1956. The flow of cohesionless grains in fluids. — *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, V. 249, p. 234-297.
- BAGNOLD, R. A., 1963. Mechanics of marine sedimentation. *In*: Hill, M. N. (Éd.), *The sea*, Interscience Publ., p. 507-582.
- DRAPEAU, G. and G. FORTIN, 1978. Tidal sedimentation in Gros-Cacouna Harbour. — 16th Int. Conf. Coastal Engng, Hamburg, 1978.
- EINSTEIN, H. A., 1950. The bedload function for sediment transportation in open channel flows: — *Tech. Bull.*, N° 1026, U. S. Dept. Agriculture, 71 p.
- E.R.S.L., 1973. Étude des paramètres hydrauliques du port de Gros-Cacouna. — Ministère des travaux publics du Canada, Étude des rives du Saint-Laurent, 42 p.
- GADD, P. E., J. W. LAVELLE and D.J.P. SWIFT, 1978. Estimates of sand transport on the New York Shelf using near-bottom current meter observations. — *J. sedim. Petrol.*, 48(1): 239-252.
- GUY, H. P., D. B. SIMONS and E. V. RICHARDSON, 1966. Summary of alluvial channel data from flume experiments 1955-1961. — *Geol. Surv. Prof. Pap.* 462-I, US Govt. Printing Office, 96 p.
- POULET, S. A. et J. P. CHANUT, 1978. Analyse factorielle des particules en suspension II. Variations dans l'Estuaire et le Golfe du Saint-Laurent (en préparation).
- YALIN, M. S., 1963. An expression for bed-load transportation: — *J. Hydraul. Div., Proc. Am. Soc. civ. Engrs.*, p. 221-250.

VARIABILITÉ JOURNALIÈRE DE LA CHLOROPHYLLE *a* ET DES TAUX DE PRODUCTION PRIMAIRE DANS LE FJORD DU SAGUENAY¹

Raynald CÔTÉ

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

et

Guy LACROIX

Département de biologie, Université Laval, Québec, G1K 7P4

Résumé

Les variations à court terme des taux de production primaire du fjord du Saguenay ont été étudiées à trois stations fixes de 13 heures en août 1974. Même si la couche photique du Fjord est relativement mince (profondeur maximale de 10 m), la température, la salinité, les sels nutritifs et la chlorophylle *a* montrent une stratification verticale très accentuée et une forte variabilité durant un cycle de marée, variabilité qui peut être expliquée par les courants de marée. Les valeurs maximales des taux de production primaire et des concentrations en chlorophylle *a* sont respectivement de 25 mg C m⁻² h⁻¹ et de 12,5 mg m⁻². Les coefficients de variation des taux de production sont aussi élevés que 55-127% durant un cycle de marée et cette variabilité est liée à la circulation amont-aval; les eaux douces entraînent rapidement les cellules phytoplanctoniques des eaux très diluées de l'amont vers les eaux plus salées de l'aval, créant ainsi certains problèmes osmotiques. La présente étude s'étant déroulée en période de débit minimal d'eau douce et de marée de morte-eau, la variabilité identifiée est loin d'être maximale. Cependant, les effets observés à cette échelle, superposés à ceux de nature saisonnière, font du fjord du Saguenay, un milieu peu typique quant au déroulement des processus productifs.

Abstract

Experiments were conducted at three 13-h stations in the Saguenay Fjord in August 1974 in order to assess tidal variability of primary production rates. Temperature, salinity, nutrients and chlorophyll *a* show a sharp vertical stratification in the thin photic zone (maximum depth of 10 m) and are highly variable during a tidal cycle. This high variability can be explained by reference to tidal inflows. Maximum of production rates and biomass are low (respectively 25 mg C m⁻² h⁻¹ and 12,5 mg m⁻²) and the tidal variability of primary production rates is very high as shown by coefficients of variation with a range from 55 to 127% and can be a result of advective processes. This fact is interpreted chiefly as being a result of the low residential time of planktonic cells, due to persistent net flushing towards the more saline lower part of the Fjord. This study was not made during a high freshwater run-off period nor during spring tides and hence the identified variability is minimal. Therefore, the observed effects at this level added to those of seasonal variability show that the Saguenay Fjord is of low productivity.

Introduction

Il est bien connu que les gradients verticaux de densité et d'énergie lumineuse imposent certaines contraintes aux populations phytoplanctoniques (Steele et Yentsch, 1960;

Platt, 1974). Les variations de la pycnocline peuvent apporter des modifications considérables dans l'épaisseur de la couche de mélange et changer ainsi, à court terme, le rapport entre la couche de mélange et la

¹ Contribution au programme du Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ)

couche photique, les conditions même de mélange et certaines propriétés physiques et chimiques de la couche photique.

Quelques auteurs (Ryther, 1954; Hulburt, 1956; Patten, Mulford et Warriner, 1963; Barlow, Lorenzen et Myren, 1963; Renk et Torbicki, 1972) ont étudié la variabilité diurne des biomasses de phytoplancton dans les estuaires, mais très peu ont considéré l'influence de la marée. Font toutefois exception le travail de Ryther, Yentsch, Hulburt et Vaccaro (1958) et celui de Welch et Isaac (1967); le premier a montré que dans un estuaire ayant des marées de faible amplitude, les variations diurnes des biomasses planctoniques ne présentaient pas de relation évidente avec les différentes phases de la marée, bien que la chlorophylle *a* variait avec l'intensité lumineuse disponible tandis que dans le deuxième travail, les auteurs ont observé une forte corrélation inverse entre les concentrations de chlorophylle *a* et les phases de la marée. L'influence de la marée sur les variations à court terme des taux de production primaire semble être un phénomène rare ou tout au moins peu étudié dans les grands estuaires.

Dans le fjord du Saguenay (fig. 1), affluent de l'estuaire du Saint-Laurent, les apports d'eau douce et le réchauffement estival contribuent à l'établissement et au maintien, de mai à octobre, d'une forte pycnocline dans les 15 premiers mètres de la colonne d'eau et cette structure physique présente des liens étroits avec les mouvements de va-et-vient des courants de marée (Côté et Lacroix, 1978a). Les marées du Fjord sont semi-diurnes et ont une amplitude de 4 à 6 mètres. Les variations à court terme de la température, de la salinité, des éléments nutritifs de la chlorophylle *a* sont considérables dans la couche de 0-15 mètres. La couche photique du Saguenay n'excédant jamais 10 mètres au cours de la saison (Côté et Lacroix, 1978b), les organismes phytoplanctoniques sont donc soumis à une grande instabilité des conditions physico-chimiques. Le présent travail vise à évaluer l'importance de la variabilité journalière des taux de production primaire dans ce type de conditions.

Matériel et méthodes

Les données de cette étude furent obtenues du 13 au 15 août 1974 à trois stations fixes de 13 heures dans le fjord du Saguenay (fig. 1). Ces trois stations DR 150, DR 290 et DR 400A ont des profondeurs maximales de

165, 275 et 140 m et sont situées respectivement à 103, 55 et 22 km de l'embouchure. Elles sont représentatives de l'amont, de la partie centrale et de l'aval du Fjord.

Les échantillons d'eau étaient prélevés à chaque heure au moyen de bouteilles Van Dorn de trois litres aux profondeurs des niveaux photométriques de 100, 16 et 1% du rayonnement solaire incident et à 5 et 10 mètres. La pénétration de la lumière était mesurée à l'aide d'un photomètre sous-marin ayant une sensibilité maximale aux environs de 530 m μ . Les concentrations en chlorophylle *a* et en éléments nutritifs et l'assimilation de $^{14}\text{CO}_2$ étaient déterminées selon les méthodes décrites dans Strickland et Parsons (1972). Dans le cas de la production primaire, deux bouteilles claires et une bouteille noire étaient remplies d'eau de mer, inoculées avec 1 ml d'une solution de 4 μCi de bicarbonate de sodium radioactif ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) et incubées, pendant quatre heures, à la température de surface selon la méthode *in situ* imité. L'activité des échantillons passés sur filtre HA Millipore (0,45 μm) était déterminée par un compteur à scintillation liquide étalonné avec des standards à activité connue et différemment amortis (Quenched Carbon-14 Standards Liquid Scintillation Counting, New England Nuclear 4×10^4 dpm ^{14}C). Ces prélèvements horaires étaient accompagnés d'un bathythermogramme de toute la colonne d'eau. Le rayonnement solaire incident était mesuré au moyen d'un pyranomètre (Modèle R401-E, Weather Measure Corp., California).

Résultats

COUCHE PHOTIQUE, TEMPÉRATURE ET SALINITÉ

La profondeur de la couche photique du Saguenay, déterminée par le niveau photométrique du 1% du rayonnement solaire incident (fig. 2) varie relativement peu dans les parties amont (de 4,0 à 5,5 m) et centrale (de 5,0 à 7,0 m). En aval, les variations sont plus importantes (de 4,5 à 10,0 m). Dans les parties centrale et aval, elle est d'épaisseur maximale de la fin du flot (F_5) au début du jusant (J_3).

La température de surface varie peu (fig. 3). La moyenne journalière est de 18°C en amont, de 17°C dans la partie centrale et de 14°C en aval. Aux profondeurs de 5 et de 10 mètres, les fluctuations journalières sont beaucoup plus fortes. La température enre-

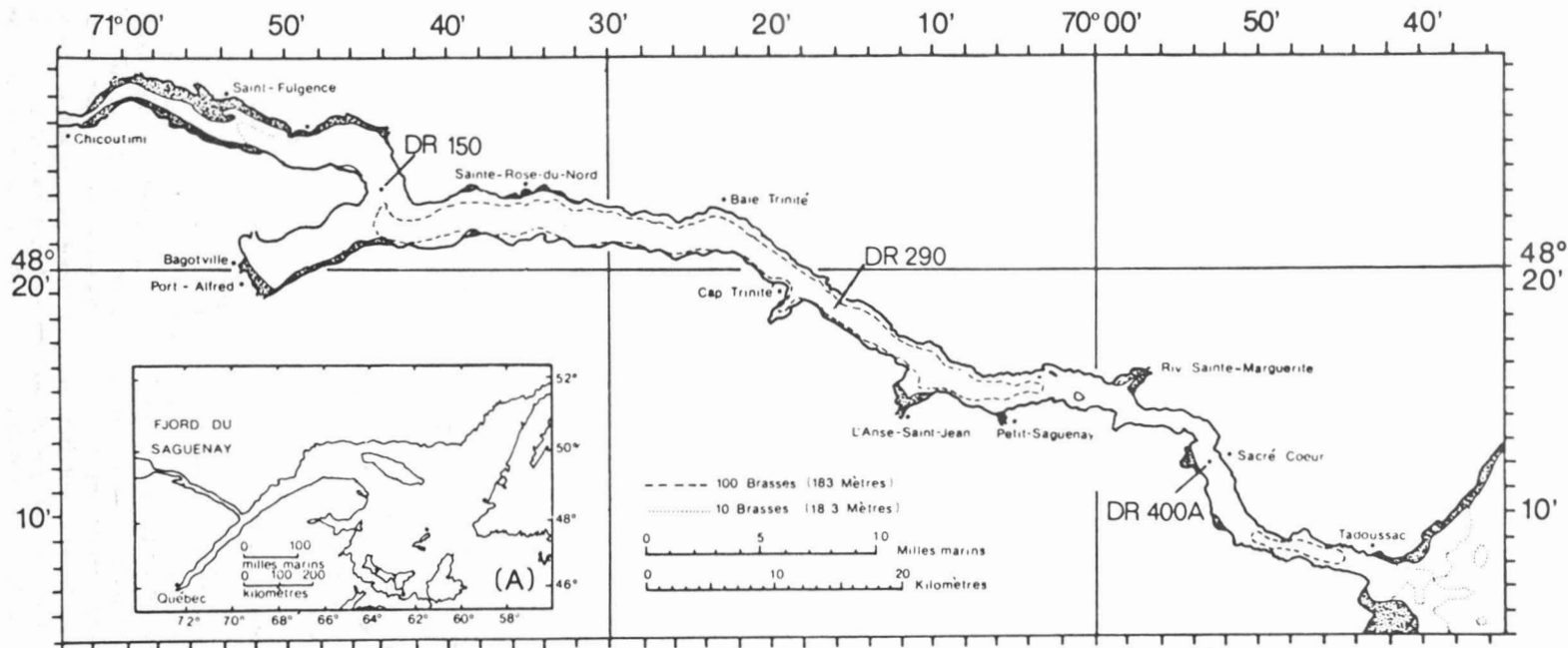


Figure 1. Carte du fjord du Saguenay montrant les stations d'échantillonnage. Le cartouche représente l'ensemble du golfe du Saint-Laurent.

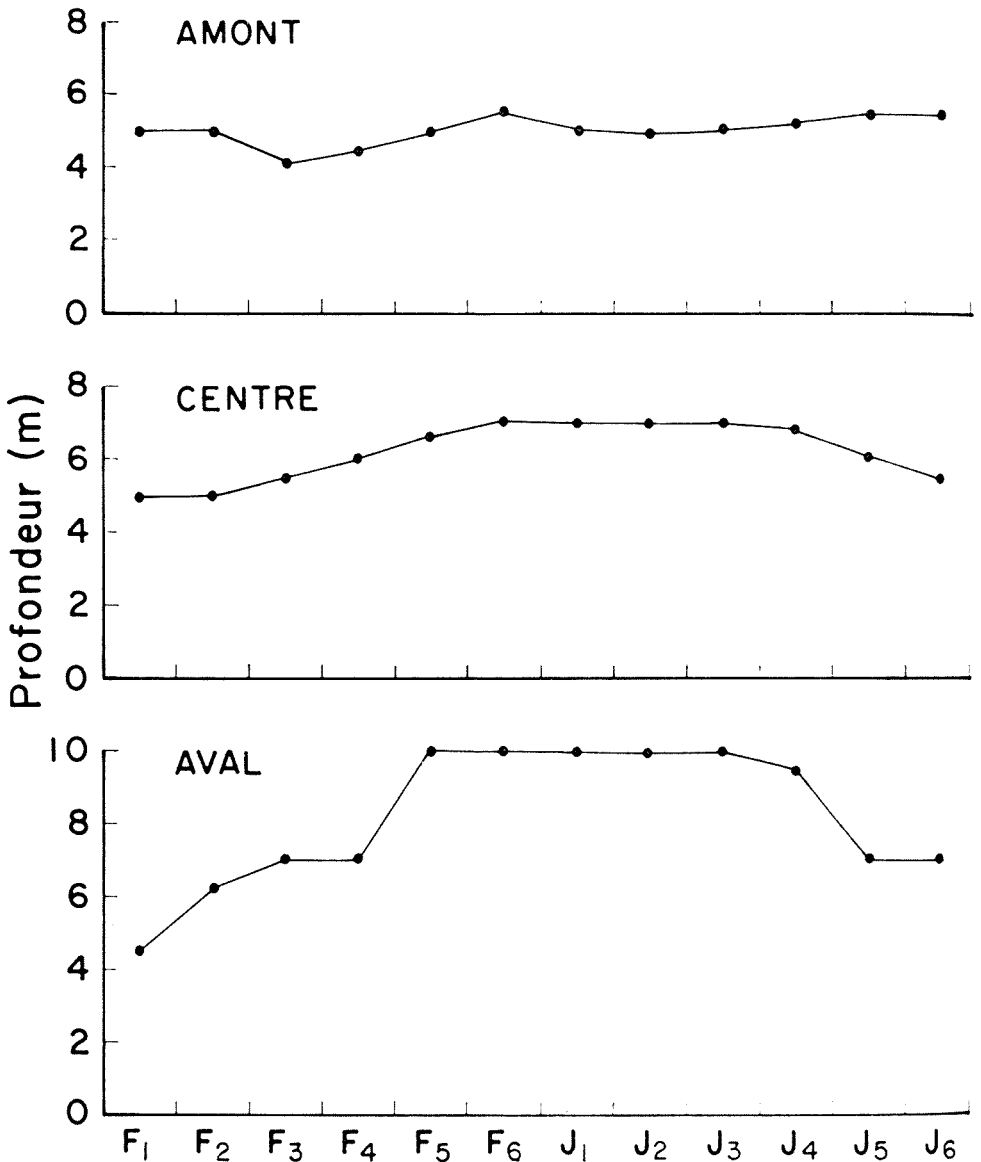


Figure 2. Variations journalières de l'épaisseur de la couche photique (niveau photométrique de 1% du rayonnement solaire incident) aux parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay en août 1974.

gistrée à la limite inférieure de la couche photique (d'après les bathythermogrammes) est très instable au cours de la journée; elle peut tripler ou même quadrupler. L'étendue des valeurs est de 3,0 à 13,5°C en amont, de 3,5 à 13,0°C dans la partie centrale et de 4,0 à 13,5°C en aval. Le maximum de température est toujours observé pendant le jusant: à la fin (J₄ et J₅) en amont et en aval; au début (J₂), dans la partie centrale.

Les variations de la salinité (fig. 3) sont également faibles dans les eaux de surface; les moyennes sont de 4,0‰ en amont, 6,9‰ dans la partie centrale et 10,7‰ en aval. Le gradient croissant amont-aval est évident à chaque heure de prélèvement. Dans les eaux sous-jacentes à la surface, les fluctuations à court terme sont particulièrement marquées (à 5 et à 10 mètres en aval et à 5 mètres dans les parties centrale et

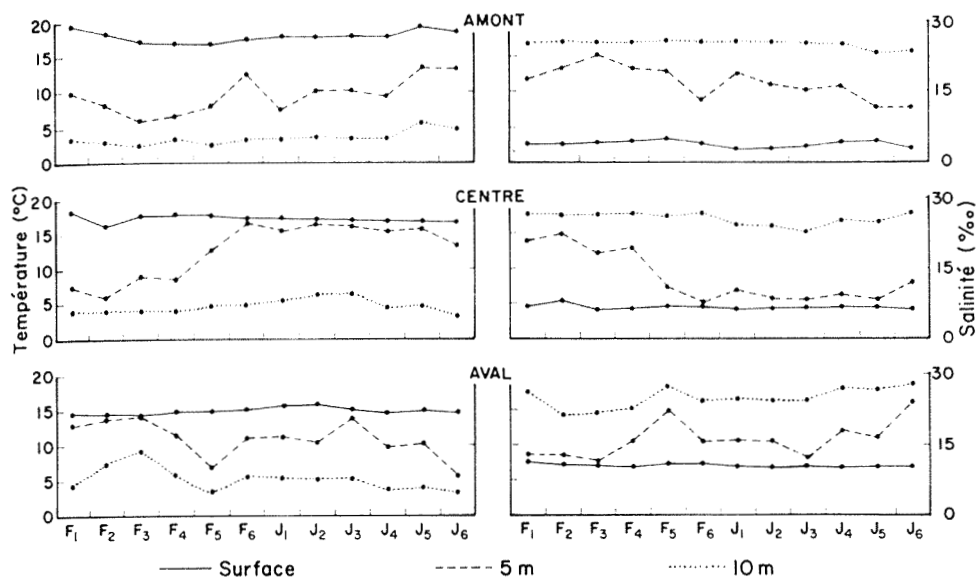


Figure 3. Variations journalières de la température et de la salinité dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau des parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay en août 1974.

amont). Les $\Delta S\%$ mesurés au niveau inférieur de la couche photique sont aussi élevés que 8,5‰ (de 13,0 à 21,5‰) en amont, 12,5‰ (de 11,5 à 24,0‰) dans la partie centrale et 15,5‰ (de 12,5 à 28,0‰) en aval. La salinité moyenne varie entre 16,5 et 20,9‰ selon les stations. La température et la salinité présentent donc des gradients verticaux très accentués dans la couche photique.

PHOSPHATES ET NITRATES

Les teneurs en phosphates et en nitrates sont généralement faibles dans les eaux de surface (tableau I) et elles varient respectivement de 0,12 à 0,24 $\mu\text{at-g L}^{-1}$ et de 4,07 à 5,52 $\mu\text{at-g L}^{-1}$. Toutefois, elles sont beaucoup plus fortes au niveau inférieur de la couche photique et les concentrations sont de l'ordre de 0,57 à 1,37 $\mu\text{at-g L}^{-1}$ pour les phosphates et de 3,12 à 11,1 $\mu\text{at-g L}^{-1}$ pour les nitrates; le gradient vertical est ainsi très marqué. Dû à certaines erreurs techniques, nous n'avons pu utiliser toutes les séries de données. Cependant, en comparant les valeurs disponibles de 1974 et celles de 1972 (Côté et Lacroix, 1978a), nous y observons sensiblement les mêmes tendances, mis à part, des valeurs plus fortes en août 1974 qu'en juillet 1972. La comparaison des coefficients de variation montre une tendance

à une plus faible variabilité à 10 m qu'aux autres profondeurs et ce, tant en 1972 qu'en 1974.

CHLOROPHYLLE a ET TAUX DE PRODUCTION PRIMAIRE

Les variations de la chlorophylle a sont relativement grandes (tableau II) et les concentrations peuvent parfois quadrupler ou même quintupler à un niveau donné de prélèvement durant un cycle de marée. Les valeurs de la partie centrale sont environ 2 à 3 fois supérieures à celles des parties amont ou aval. En amont, les coefficients de variation sont de l'ordre de 52 à 94%; dans les parties centrale et aval, ils sont inférieurs à 50%.

En considérant l'ensemble de la couche photique (fig. 4), les concentrations de la chlorophylle a totale n'excèdent pas 12,5 mg m^{-2} dans la partie centrale et 6,5 mg m^{-2} en amont et en aval. En amont, nous observons une augmentation légère vers la fin du flot (F_4 et F_5), mais une augmentation plus considérable à la fin du jusant (J_5). Dans la partie centrale, les valeurs sont généralement élevées. En aval, les concentrations sont plus faibles que celles de la partie centrale mais relativement plus fortes que celles de l'amont. Les valeurs des parties centrale et aval demeurent élevées sauf à la fin du jusant (J_5 - J_6).

TABLEAU I

Variabilité journalière des phosphates et des nitrates dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau des parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay en juillet 1972 et en août 1974.

Date	Prof. (m)	Phosphates			Nitrates		
		Étendue	Moyenne et écart-type	C.V.** (%)	Étendue	Moyenne et écart-type	C.V.** (%)
		$(\mu \text{ at-g } 1^{-1})$			$(\mu \text{ at-g } 1^{-1})$		
Juillet 1972*	0	0,13 - 0,43	0,32 ± 0,10	31,2	1,45 - 6,27	4,42 ± 1,41	31,9
	5	0,13 - 0,46	0,31 ± 0,11	35,4	2,11 - 8,00	5,03 ± 1,51	30,0
	10	0,33 - 1,16	0,80 ± 0,18	22,3	5,45 - 11,73	9,49 ± 1,31	13,8
Août 1974	0	0,12 - 0,24	0,17 ± 0,06	35,2	4,07 - 5,52	4,57 ± 0,81	17,7
	5	0,57 - 1,03	0,77 ± 0,24	31,1	3,12 - 8,80	6,53 ± 3,02	46,6
	10	1,06 - 1,37	1,23 ± 0,16	13,0	9,31 - 11,10	10,13 ± 0,91	8,9

* Côté et Lacroix, 1978a.

** Coefficient de variation ($100 \sigma/x$)

TABLEAU II

Variabilité journalière de la chlorophylle a et des taux de production primaire à divers niveaux de la couche photique des parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay en août 1974.

Partie du fjord	Niveau photo-métrique*	Chlorophylle a			Taux de production primaire		
		Étendue	Moyenne journalière et écart-type	C.V.** (%)	Étendue	Moyenne journalière et écart-type	C.V.** (%)
		$(\text{mg } m^{-3})$			$(\text{mg C } m^{-3} h^{-1})$		
Amont	100	0,40 - 1,92	0,62 ± 0,40	64,52	0,24 - 6,57	1,33 ± 1,69	127,07
	16	0,16 - 1,10	0,44 ± 0,23	52,27	0,14 - 3,08	0,80 ± 0,82	102,50
	1	0,05 - 0,53	0,16 ± 0,15	93,75	0,05 - 0,34	0,10 ± 0,12	120,00
Centre	100	0,66 - 2,82	1,58 ± 0,60	37,97	1,24 - 7,57	3,06 ± 1,69	55,23
	16	0,68 - 2,94	1,37 ± 0,62	45,26	0,68 - 4,94	2,38 ± 1,47	61,76
	1	0,38 - 1,52	1,06 ± 0,52	49,06	0,51 - 8,19	2,32 ± 2,25	96,98
Aval	100	0,44 - 1,30	0,81 ± 0,27	33,33	0,21 - 5,79	2,29 ± 1,70	74,25
	16	0,22 - 0,80	0,49 ± 0,19	38,78	0,27 - 3,16	1,21 ± 0,82	67,77
	1	0,40 - 0,78	0,60 ± 0,10	16,67	0,10 - 4,17	1,25 ± 1,26	100,80

* Rayonnement solaire incident

** Coefficient de variation ($100 \sigma/\bar{x}$)

Tout comme les concentrations de chlorophylle a, les taux de production primaire du Fjord (tableau II) sont également très variables durant un cycle de marée; les taux mesurés à un niveau donné de la couche photique peuvent présenter des valeurs de 15 à 20 fois supérieures à celles d'une observation précédente. Les taux de production primaire totale (fig. 4) sont faibles en

amont (moyenne journalière de $4,3 \text{ mg C } m^{-2} d^{-1}$) mais plus élevés dans les parties centrale (moyenne de $19,9 \text{ mg C } m^{-2} d^{-1}$) et aval (moyenne de $14,1 \text{ mg C } m^{-2} d^{-1}$). Dans les parties amont et aval, il existe une forte corrélation significative entre la production primaire et la chlorophylle a de l'ensemble de la couche photique; les coefficients de corrélation sont respectivement de 0,95 et

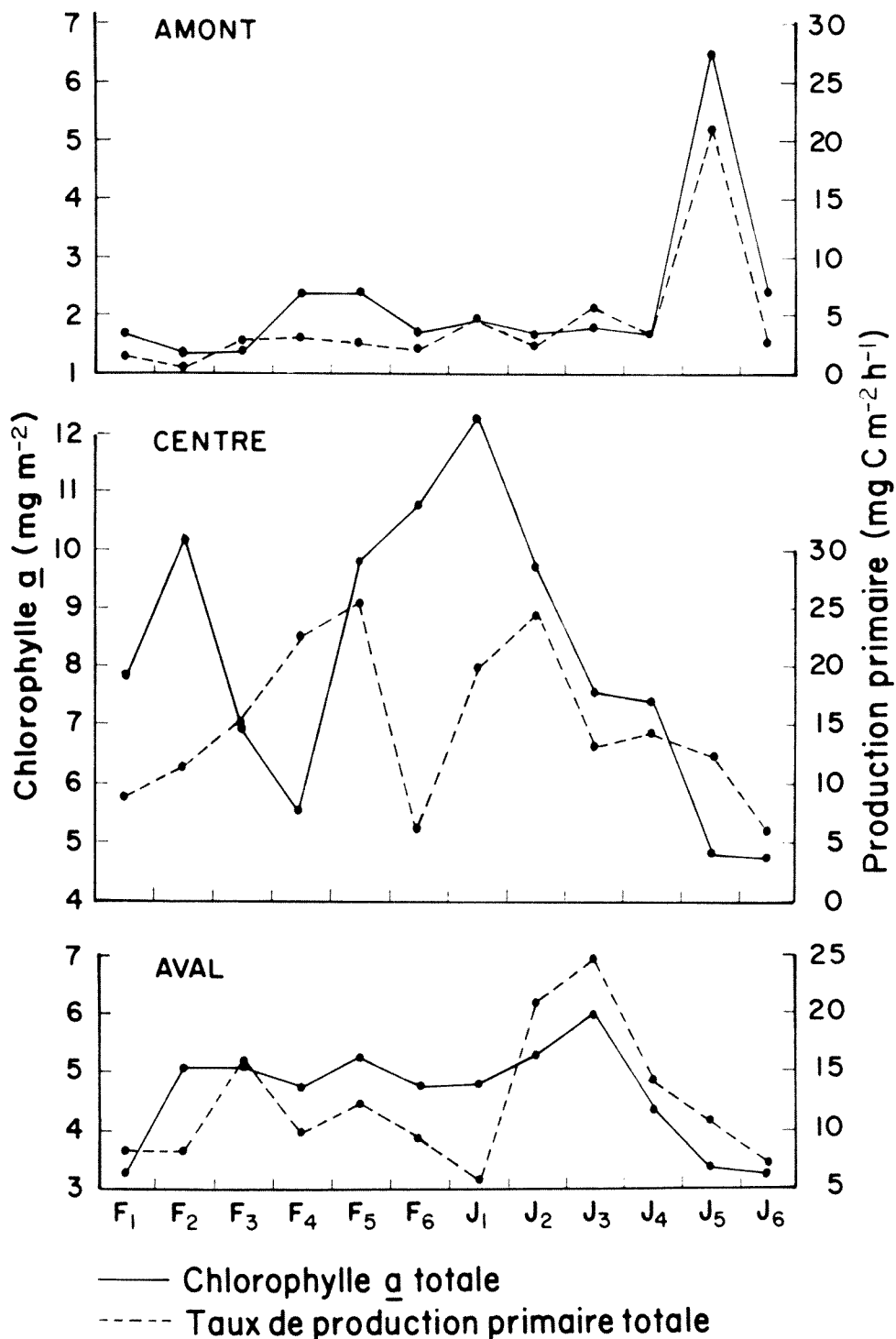


Figure 4. Variations journalières de la chlorophylle a totale et des taux de production primaire totale de la couche photique des parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay en août 1974.

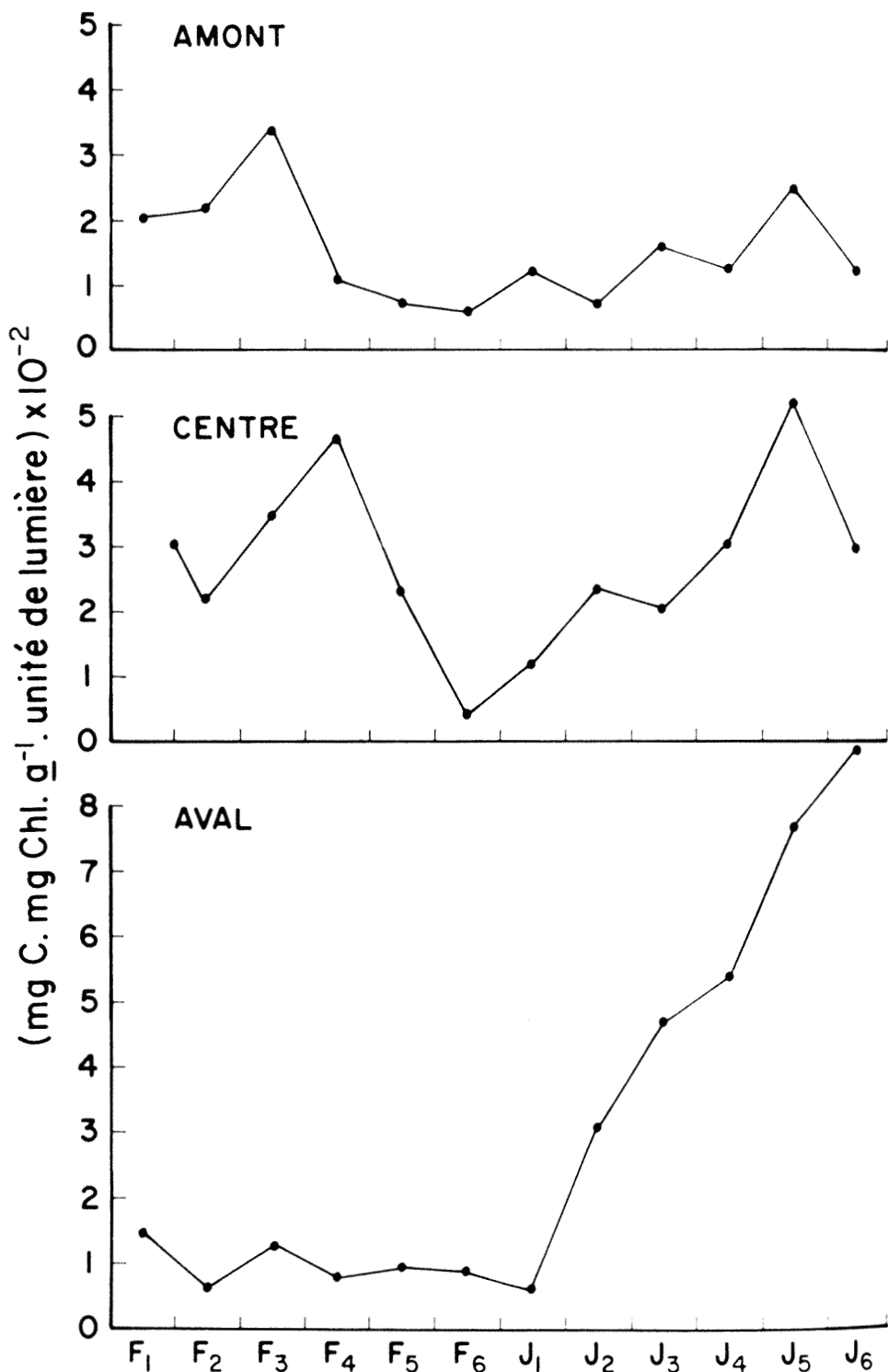


Figure 5. Variations journalières de l'efficacité relative de la production du phytoplancton des parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay en août 1974.

0,68 avec une probabilité d'indépendance inférieure à 1%. Dans la partie centrale, la relation linéaire n'est pas significative.

Afin de mieux discerner l'effet des marées dans le Fjord, nous avons calculé les taux de production par unité de biomasse et par unité de lumière (fig. 5). Les valeurs élevées d'efficacité relative ont tendance à être plus fréquentes pendant le flot à l'amont tandis qu'à l'aval, elles le sont très nettement pendant le jusant. Dans la partie centrale, l'on retrouve autant de valeurs relativement élevées pendant le flot que pendant le jusant. La faible valeur enregistrée à F₆ dans la partie centrale est associée à des diminutions substantielles de salinité et augmentations de température (fig. 3) et est probablement la résultante de changements momentanés dans la circulation amont-aval du Fjord.

Discussion et conclusion

Les résultats de cette étude montrent d'une part que dans la mince couche photique du fjord du Saguenay — profondeur maximale de 10 m —, la chlorophylle *a* et les taux de production primaire sont très variables durant un cycle de marée et d'autre part, que cette forte variabilité présente des disparités entre l'amont et l'aval.

Le degré de stratification physique et chimique est très marqué dans les trois parties du Fjord et persistant durant toute la journée. Les gradients verticaux de la température et de la salinité atteignent des valeurs aussi élevées que 2,7°C par mètre et 3,5 ‰ par mètre durant un cycle de marée. De tels gradients exposent les cellules à passer, à la faveur de la turbulence, d'une gamme de conditions à une autre gamme très différente et ce, dans une très courte période de temps. Ces changements sont susceptibles de provoquer chez les cellules planctoniques des perturbations métaboliques qui risquent de se refléter, du moins à court terme, dans leur efficacité photosynthétique.

Par ailleurs, selon les données courantologiques disponibles du Fjord (Canada, 1973), l'influence des courants de marée est très marquée dans les eaux sous-jacentes à la surface. Les écarts de température et de salinité, enregistrés à 5 et/ou 10 mètres (limite inférieure de la couche photique) durant un cycle de marée, sont très considérables (fig. 3) et les valeurs de $\Delta T^{\circ}\text{C}$ et de $\Delta S_{\text{‰}}$ sont de l'ordre de 9,5 à 10,5°C et

de 8,5 à 15,5‰. De telles variations ne peuvent trouver leur explication que dans la circulation amont-aval. En engendrant des fluctuations à court terme importantes dans les propriétés physiques et chimiques des eaux superficielles, les mécanismes advectifs peuvent aussi apporter des modifications majeures dans la composition taxonomique des populations de phytoplancton. Dans une étude parallèle à celle-ci (A. Cardinal et P.-E. Lafleur, com. pers.), il est démontré que le phytoplancton du Fjord est un mélange d'espèces d'eau douce — prédominantes —, d'espèces euryhalines et d'espèces marines. Les espèces d'eau douce originent évidemment des affluents mais on peut présumer que leur temps de résidence dans les eaux peu salées de l'amont est très limité, leur transport vers les eaux plus salées des parties centrale et aval entraînant une élimination progressive des espèces les moins résistantes au changement de salinité. Ainsi, dans la partie amont, nous observons des concentrations en chlorophylle *a* relativement faibles durant toute la journée (fig. 4) et conséquemment, des taux de production peu élevés. Dans les parties centrale et aval, la chlorophylle *a* est relativement plus abondante et les taux de production, plus élevés. L'absence de relation linéaire significative entre les concentrations de chlorophylle *a* et les taux de production à la station de la partie centrale semble aléatoire puisque dans un travail antérieur (Côté et Lacroix, 1978b), nous avons observé, à partir de données saisonnières (juillet-octobre 1974), une forte corrélation significative ($r = 0,90$, $P < 0,01$). La salinité moyenne journalière de surface de cette station «centrale» (6,85 ‰) étant intermédiaire entre celle de l'amont (4,00 ‰) et celle de l'aval (10,73 ‰), pourrait être à la source de certains problèmes osmotiques affectant l'activité photosynthétique des cellules et expliquer, au moins partiellement, le déphasage d'une ou deux heures observé entre les fluctuations à court terme des concentrations de chlorophylle *a* et celles des taux de production primaire (fig. 4). Dans les parties amont et aval, la relation linéaire entre la chlorophylle *a* et les taux de production est significative.

En dépit de cette relation non significative dans la partie centrale, les valeurs d'efficacité relative (fig. 5) y sont relativement élevées durant toute la journée et cette situation est évidemment très différente des stations de l'amont (valeurs plus élevées pendant le flot) et de l'aval (valeurs plus élevées

pendant le jusant). Le phytoplancton de la partie centrale pourrait être constitué des composantes les plus euryhalines de l'aval (via le flot) et/ou des espèces les plus tolérantes de l'amont (via le jusant).

En définitive, contrairement aux milieux océaniques où la variabilité journalière des taux de production est souvent associée aux fluctuations dans les concentrations de chlorophylle *a* ou à celles de l'énergie lumineuse disponible (Verduin, 1957; Doty et Oguri, 1957; Holmes et Haxo, 1958; Lorenzen, 1963), une partie importante de la variabilité journalière de la production primaire du Saguenay est liée à la marée et comme l'indiquent les différences entre l'amont et l'aval, cette variabilité est simultanément liée aux variations dans la circulation amont-aval. Cependant, la présente étude s'étant déroulée en période de débit minimal d'eau douce (août) et de marée de morte-eau, la variabilité identifiée est loin d'être maximale. Toutefois, les effets qui en résultent à cette échelle, superposés à ceux de nature saisonnière (Côté et Lacroix, 1979) contribuent sans aucun doute, à faire du fjord du Saguenay, un milieu peu typique quant au déroulement des processus productifs qui semblent directement contrôlés en tout temps par la circulation dans la nappe superficielle.

Remerciements

Ce travail de recherches fut réalisé grâce à l'appui financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie Canada (CRSNG) (subvention à G. Lacroix) et du Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ) (subventions de la Fondation Donner du Canada, du CRSNG et du Ministère de l'éducation du Québec). Des bourses post-grades furent accordées à R. Côté par la Société zoologique du Québec et par le CRSNG.

Références

- BARLOW, J. P., C. J. LORENZEN and R. I. MYREN, 1963. Eutrophication of a tidal estuary. — *Limnol. Oceanogr.*, 8: 251-262.
- CANADA, SERVICE, HYDROGRAPHIQUE, 1973. Instructions, nautiques. Golfe et fleuve Saint-Laurent. — Direction générale des sciences de la mer, Ministère de l'environnement, 498 p.
- CÔTÉ, R. et G. LACROIX, 1978a. Variabilité à court terme des propriétés physiques, chimiques et biologiques du Saguenay, fjord subarctique du Québec (Canada). — *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 63: 25-39.
- CÔTÉ, R., et G. LACROIX, 1978b. Capacité photosynthétique du phytoplancton de la couche aphotique dans le fjord du Saguenay. — *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 63: 233-246.
- CÔTÉ, R. et 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*, Vol. 2, n° 3.
- DOTY, M. S. and M. OGURI, 1957. Evidence for a photosynthetic daily periodicity. — *Limnol. Oceanogr.*, 2: 37-40.
- HOLMES, R. W. and F. T. HAXO, 1958. Diurnal variations in the photosynthesis of natural phytoplankton populations in artificial light. — *U.S. Fish. Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. No.*, 279: 73-76.
- HULBURT, E. M., 1956. The phytoplankton of Great Pond, Massachusetts. — *Biol. Bull.*, 110: 156-168.
- LORENZEN, C. J., 1963. Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton populations. — *Limnol. Oceanogr.*, 8: 56-62.
- PATTEN, B. C., R. A. MULFORD, and J. E. WARINER, 1963. An annual phytoplankton cycle in the Lower Chesapeake Bay. — *Chesapeake Sci.*, 1: 1-7.
- PLATT, T., 1974. The spatial structure of populations of marine phytoplankton: a problem in time-series analysis. Paper presented to the 8th Biometric Conference of the Biometric Society, Konstanza, Romania, August.
- RENK, H. and H. TORBICKI, 1972. Primary production and chlorophyll content in the Baltic Sea. Part 1. Preliminary evaluation of diurnal changes in the Gdansk Bay. — *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 19(3): 235-250.
- RYTHER, J. H., 1954. The ecology of phytoplankton blooms in Morisches Bay and Great South Bay, Long Island, N.Y. — *Biol. Bull.*, 106: 198-205.
- RYTHER, J. H., C. S. YENTSCH, E. M. HULBURT and R. F. VACCARO, 1958. The dynamics of a diatom bloom. — *Biol. Bull.*, 115: 257-268.
- STEELE, J. H. and C. S. YENTSCH, 1960. The vertical distribution of chlorophyll. — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 39: 217-226.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. PARSONS, 1972. A practical handbook of sea water analysis. — *Bull. No. 167, Fish. Res. Bd Can.*, 211 p.
- VERDUIN, J., 1957. Daytime variations in phytoplankton photosynthesis. — *Limnol. Oceanogr.*, 2: 333-336.
- WELCH, E. B. and G. W. ISAAC, 1967. Chlorophyll variation with tide and with plankton productivity in an estuary. — *J. Wat. Pollut. Control. Fed.*, Part 1: 360-366.

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DES ALGUES BENTHIQUES MÉDIOLITTORALES DANS L'ESTUAIRE MARITIME DU SAINT-LAURENT (QUÉBEC)¹

M. BRETON-PROVENCHER, J. A. GAGNÉ et A. CARDINAL

Département de biologie, Université Laval, Québec, G1K 7P4, Québec

Résumé

Les auteurs ont évalué la biomasse des algues benthiques médiolittorales — plus spécifiquement des Fucales — en une localité de l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Québec). Ces données de biomasse ont par la suite été utilisées pour estimer la production annuelle de ces algues grâce à l'utilisation de la technique du ¹⁴C sur le *Fucus vesiculosus*. Il en ressort que les Fucales à elles seules seraient plus productives que le phytoplancton de la même région.

Abstract

The biomass of the Fucales was measured in one locality along the lower St. Lawrence Estuary, Quebec. With the use of ¹⁴C on *Fucus vesiculosus*, we estimated the production of these algae. We conclude that the Fucales alone would have a higher annual production than the phytoplankton in the region.

Introduction

L'apport du phytobenthos à la productivité du système littoral marin a été fortement négligé jusqu'à ce que Mann (1972) ne mette en relief de façon rigoureuse la contribution relative de ce type de végétation dans la production des milieux côtiers et des baies. Mann a en effet démontré que, par rapport à la surface totale de la baie St. Margaret (Nouvelle-Écosse), la production de ces algues dépassait de plus de trois fois celle du phytoplancton (603 et 190 g C/m² respectivement).

Dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent, et plus particulièrement sur la rive sud, l'étage médiolittoral prend une grande importance, atteignant 1 km à plusieurs endroits. À la station choisie, Cap-à l'Original, près de Rimouski, il atteint une largeur maximale de 425 m. En conséquence, et contrairement aux littoraux océaniques où les algues continuellement submergées dominent de beaucoup la masse des macrophytes, nous croyons que dans l'Estuaire, à cause de la grande amplitude des marées (0,75 à 4,63 m) et du haut degré de turbidité (Nota et

Loring, 1964), l'importance relative des Fucales est de beaucoup supérieure. Afin d'apprécier la production de ces algues médiolittorales, nous avons étudié les variations de biomasse, et tenté d'évaluer l'influence de certains facteurs responsables des fluctuations observées, soit l'activité photosynthétique, la croissance et le dépeuplement.

Matériel et méthodes

ÉCHANTILLONNAGE ET MESURE DES BIOMASSES

Pour étudier les variations saisonnières de biomasse, un échantillonnage par quadrats (0,25 m²), respectant les exigences de l'aire minimale (Gounot, 1969), fut réalisé à trois niveaux (médiolittoral supérieur (MS), moyen (MM) et inférieur (MI)) sur des droites parallèles au rivage. Les stations furent réparties sur 2 km de rivage dans les modes abrité (A), semi-battu (SB) et battu (BA). En 1972, 1061 quadrats ont ainsi été étudiés (240 A, 621 SB, 200 BA); un test de chi² sur ces données a permis de réduire en 1973 ce

¹ Contribution au programme du Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ)

nombre à 880 (240 A, 440 SB, 200 BA) tout en conservant le même niveau de significativité. L'échantillonnage s'est poursuivi de mai à septembre durant ces deux années.

D'abord une évaluation de la couverture de chaque espèce présente dans les quadrats a été réalisée, puis les algues ont été détachées, nettoyées, pesées, séchées à l'étuve jusqu'à l'obtention d'un poids constant, puis pesées à nouveau.

MESURE DE LA CROISSANCE

La croissance a été évaluée en mesurant l'allongement mensuel de 320 individus marqués appartenant aux trois espèces dominantes de Fucales *Fucus vesiculosus*, *F. distichus* subsp. *edentatus* et *Ascophyllum nodosum* (fig. 1). Les mesures étaient effectuées mensuellement (de mai à septembre) sur les photographies *in situ* de ces algues préalablement étalées sur une planche graduée. Cette méthode nous a permis d'obtenir en plus une estimation grossière du taux de dépeuplement.

MESURE DE L'ACTIVITÉ PHOTOSYNTHÉTIQUE

La seconde phase du projet débutait en 1974 dans le but d'étudier la production du *F. vesiculosus* au moyen d'une méthode plus rigoureuse faisant appel à l'assimilation du ^{14}C (Gagné, Larochelle et Cardinal, sous-presse; Gagné, 1977). Ces échantillons traités au radiocarbone devaient permettre d'estimer les variations saisonnières de l'ac-

tivité photosynthétique de cette espèce, et d'en appliquer les résultats aux données de biomasse obtenues précédemment (Breton-Provencher, 1976). En 1975, un échantillonnage mensuel fut réalisé sur le terrain de mai à octobre, puis dans un incubateur en laboratoire jusqu'en février 1976. La cellule photoélectrique d'un photomètre Licor (L-185) était alors fixée au dispositif expérimental sur le terrain, et immergée avec lui dans le milieu; ce même appareil permettait également de mesurer la quantité de photons lumineux utilisables dans nos incubateurs en laboratoire durant l'hiver.

Résultats

TAUX DE CROISSANCE

À l'exemple des travaux de Klugh et Martin (1927), Knight et Parke (1940) et Burrows (1955), l'allongement du thalle des Fucales a été retenu comme mesure de croissance. Il est certain que cette seule valeur ne constitue pas une mesure absolue mais elle fournit tout de même un indice du développement du thalle chez les Fucales.

Le tableau I compare l'allongement mensuel moyen des différentes espèces selon les modes et les années. Nos valeurs de 1,69 à 4,61 cm/mois sont du même ordre que les taux de croissance obtenus par Knight et Parke (1950) (1,33-2,91 cm/mois), Burrows (1955) (2,14-13,93 cm/mois), Lemoine (1913, fide Blackler, 1955) (2,66-3,51 cm/mois) et Halton (1931) (1,32-2,01 cm/mois).

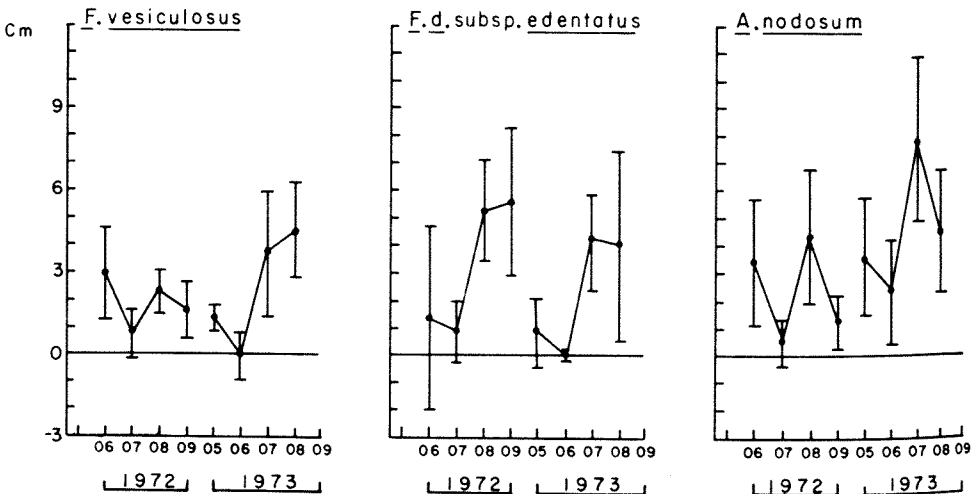


Figure 1. Allongement mensuel des trois espèces de Fucales (moyenne, intervalle de confiance ($P \leq 0,05$)) en mode abrité, durant les deux années d'échantillonnage.

TABLEAU I

Taux mensuels d'allongement des différentes espèces selon les différents modes en 1972 et 1973 (cm/mois).

Années / modes	<i>F. vesiculosus</i>	<i>F. distichus</i> subsp. <i>edentatus</i>	<i>A. nodosum</i>
1972			
Abrité	1,82	3,26	2,37
Semi-battu	1,88	2,08	2,69
Battu	2,24	2,02	2,94
1973			
Abrité	2,36	2,25	4,61
Semi-battu	3,19	—	2,68
Battu	1,60	1,60	—
1972-1973			
Abrité	2,09	2,76	3,49
Semi-battu	2,54	1,22	2,69
Battu	1,92	1,81	1,69

Les variations mensuelles des taux de croissance par espèce présentent des maxima et des minima à des moments différents de l'été selon le mode. L'intervalle de confiance de la moyenne étant cependant en général assez grand, on ne peut conclure à des différences significatives. On a toutefois décelé des différences significatives dans le mode abrité où la croissance des trois es-

pèces suit un même patron de variations durant les deux saisons d'échantillonnage, soit un fort allongement printannier, en juin 1972 ou mai 1973, diminuant sensiblement dès juillet 1972 ou juin 1973, pour s'accroître par la suite graduellement jusqu'à la fin de l'été. *A. nodosum* fait toutefois exception à ce patron en présentant une diminution à la fin de l'été. La forte croissance printannière semblerait indiquer que lors du départ des glaces, la croissance serait favorisée par les conditions physico-chimiques optimales (t° , éclaircissement, sels nutritifs plus abondants, etc.). Le minimum noté par la suite pourrait être relié à une diminution des sels nutritifs consécutive à la croissance rapide du phyto-benthos et à la multiplication du phytoplancton. En effet, bien que les concentrations en nitrates soient élevées toute l'année, un minimum significatif a déjà été observé dans le littoral en juillet (Gagné, 1977).

DÉPEUPLEMENT

Les individus marqués en 1972 (138) et en 1973 (182) nous ont permis de suivre l'évolution du dépeuplement (nombre de plants perdus/nombre de plants marqués/mois). En 1972, il fut plus élevé dans le mode semi-battu (45%) et plus faible dans le mode abrité (5%), alors qu'on observait une valeur intermédiaire en mode battu (27%). En 1973, les taux furent uniformes quelque soit le mode, soit de l'ordre de 27%. En analysant

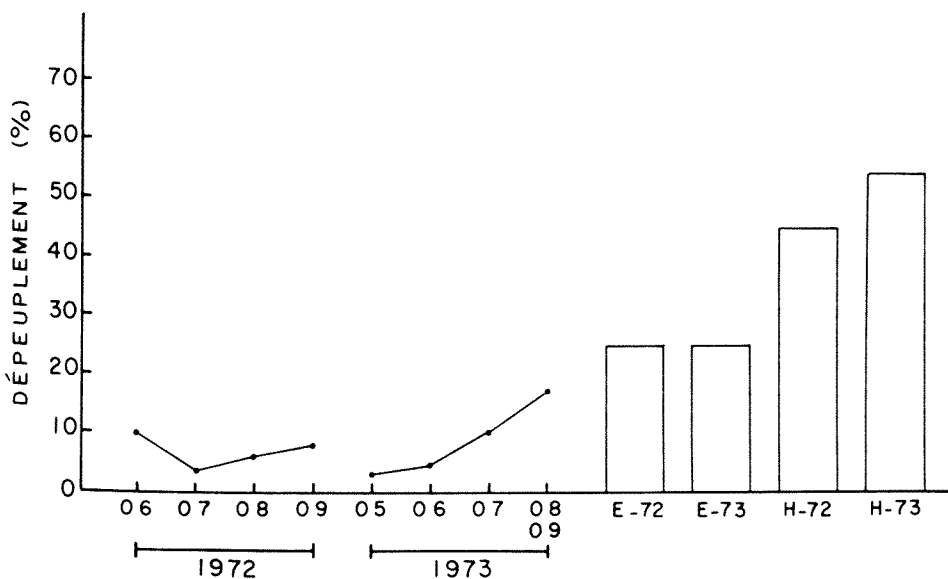


Figure 2. Taux de dépeuplement des Fucacées selon les mois et les saisons (E = été; H = hiver) durant les deux années d'échantillonnage.

globalement la population d'individus marqués, nous retrouvons cependant des taux identiques pour les étés 1972 et 1973, soit de l'ordre de 25% (fig. 2).

Les variations mensuelles se résument pour l'été 1973 à une augmentation graduelle du dépeuplement de mai à septembre. En 1972, il y eut un plus fort taux de disparition en juin, puis les taux demeurèrent assez stables par la suite (fig. 2).

BIOMASSES: SOURCES DE VARIATIONS

L'analyse de variance fut appliquée aux données de biomasse afin de vérifier l'influence des niveaux, des modes et du moment de la saison sur leurs fluctuations. Les valeurs de «F» utilisées pour tirer les conclusions furent calculées d'après le principe du plus grand diviseur. D'après les résultats obtenus, il semble que la biomasse varie en fonction d'une combinaison des variables postulées. Il n'existe pas de différence significative entre la biomasse des trois niveaux des modes abrité et battu (tableau II, A). Les modes ne sont distincts qu'en ce qui concerne la biomasse des niveaux moyen et inférieur (tableau II, B). Si nous analysons les données globalement (tableau II, C), sans tenir compte des dates, il n'y a aucune différence significative entre les facteurs pris isolément; en paire d'interaction, nous retrouvons une variation significative de la biomasse en fonction des niveaux et des modes lorsque chaque année est considérée isolément. On note finalement que l'étagement et les modes ont une importance générale en fonction des variations saisonnières (tableau II, A, B), et dans ce cas, les résultats sont très significatifs.

Les algues du mode abrité, malgré une pauvre couverture estivale moyenne (23%), ont une forte biomasse moyenne $430 \pm 41 \text{ g/m}^2$; les Fucales constituent dans ce mode la presque totalité de la végétation. Comme ces algues sont pérennantes dans un milieu où l'arrachement est minimal, la croissance d'une année s'ajoute régulièrement à celle de l'année précédente. Le volume et la biomasse augmentent sans que la couverture totale ne varie sensiblement, car le substrat disponible (rochers, blocs erratiques) est constamment occupé en totalité. Bien que le pourcentage de couverture soit beaucoup plus élevé en mode battu, la biomasse estivale moyenne ($414 \pm 31 \text{ g/m}^2$), surtout constituée de plants à taille limitée

par l'action des vagues, ne dépasse pas celle des algues du mode abrité.

Si nous comparons les modes semi-battu et battu, nous constatons que la biomasse en mode semi-battu ($256 \pm 11 \text{ g/m}^2$) est inférieure à celle mesurée en mode battu ($414 \pm 31 \text{ g/m}^2$), malgré une couverture totale semblable dans les deux milieux (SB = 51%; BA = 55%). Nous croyons que la différence est due à la biomasse des niveaux supérieur et moyen du mode semi-battu où les glaces produisent un important effet érosif annuel sur la végétation fixée.

Ces données de biomasse mettent aussi en évidence la dominance des Fucales dans l'étage médiolittoral. Ainsi, dans le mode abrité, leur biomasse (401 g/m^2) représente 90% de la biomasse totale, en mode semi-battu 69% (177 g/m^2), 85% en mode battu (351 g/m^2) et 92% pour l'ensemble de l'aire à l'étude (313 g/m^2). Trois espèces se partagent l'essentiel de cette dominance: *F. vesiculosus*, dont la biomasse moyenne (54 g/m^2) représente 16% de la biomasse totale, *F. distichus* subsp. *edentatus* (125 g/m^2) 37% et *A. nodosum* dont les 130 g/m^2 constituent 39% de la biomasse totale.

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA BIOMASSE

La biomasse augmente en général tout l'été, sauf en juillet 1972, et le taux d'augmentation s'atténue en août (fig. 3). La biomasse estivale moyenne et la couverture furent plus élevées en 1973 ($363 \pm 22 \text{ g/m}^2$; 47%) qu'en 1972 ($313 \pm 20 \text{ g/m}^2$; 40%). La biomasse moyenne des deux saisons fut de $337 \pm 15 \text{ g/m}^2$ pour une couverture moyenne de 43%.

La différence de biomasse (ΔB) entre deux mois consécutifs (tableau III) a permis d'établir les taux mensuels d'augmentation de cette biomasse. En 1972, on retrouve généralement un taux d'augmentation maximal en juillet, sauf dans le mode abrité où il n'apparaît qu'à la fin d'août. En 1973, le patron de variations mensuelles est différent: la biomasse augmente beaucoup plus rapidement au début de l'été, sauf dans le mode battu où le taux maximum survient en juillet, et où des diminutions sont observées au début et à la fin de l'été. Il se peut que la différence entre les deux saisons soit due au fait qu'en 1973 un échantillonnage plus hâtif ait permis de mieux mesurer l'accroissement printannier de biomasse consécutif au retrait des glaces.

TABLEAU II

Résultats de l'analyse de variance donnant le degré d'influence des différents facteurs sur la biomasse (*: significatif (P 0,05); **: très significatif (P 0,01); NS: non significatif, facteur à rejeter.

A Modes	Source de variance	Degrés de liberté	Estimation de la variance	F
Abrité	Niveaux	2	326 422	2,887 NS
	Dates	12	103 044	0,911 NS
	Niveaux & dates	24	113 070	2,027**
	Résiduelle	490	55 786	
Semi-battu	Niveaux	2	1 177 003	4,821*
	Dates	12	1 024 146	4,195**
	Niveaux & dates	24	244 143	38,350**
	Résiduelle	763	6 366	
Battu	Niveaux	2	426 575	1,868 NS
	Dates	12	602 333	2,637**
	Niveaux & dates	24	228 408	12,806**
	Résiduelle	288	17 836	
B Niveaux				
Medio-littoral supérieur	Modes	2	2 517 904	1,143 NS
	Dates	12	1 941 119	0,881 NS
	Modes & dates	24	2.202 376	60,637**
	Résiduelle	470	36,321	
Medio-littoral moyen	Modes	2	1 762 995	3,535*
	Dates	12	1 019 083	2,044*
	Modes & dates	24	498 707	22,330**
	Résiduelle	534	22 333	
Medio-littoral inférieur	Modes	2	954 893	6,748**
	Dates	12	954 371	6,744**
	Modes & dates	24	141 510	9,121**
	Résiduelle	537	15 515	
C Années				
1972	Niveaux	2	13 891	0,081 NS
	Modes	2	263 743	1,529 NS
	Niveaux & modes	4	172 444	7,963**
	Résiduelle	888	21 654	
1973	Niveaux	2	152 221	1,198 NS
	Modes	2	212 292	1,670 NS
	Niveaux & modes	4	127 091	5,211**
	Résiduelle	869	24 389	

Les différences de biomasse entre deux mois successifs peuvent être imputables à la méthode d'échantillonnage, mais aussi aux changements des taux de photosynthèse et de respiration, au broutage ou au dépeuplement, ou encore à la libération des structures reproductrices. Nous mesurons l'effet cumulatif de ces divers facteurs sur la biomasse fixée, et ainsi la production réelle est

sous-estimée. Quant à la présence de taux négatifs, elle n'implique pas un arrêt de production de matière organique; la biomasse produite peut alors être inférieure à la quantité de tissu végétal retourné dans le milieu par érosion ou par tout autre processus. Il ne faut pas en effet exclure le phénomène de renouvellement de biomasse mesuré par Mann (1972) pour les Laminariales (de 4 à 13

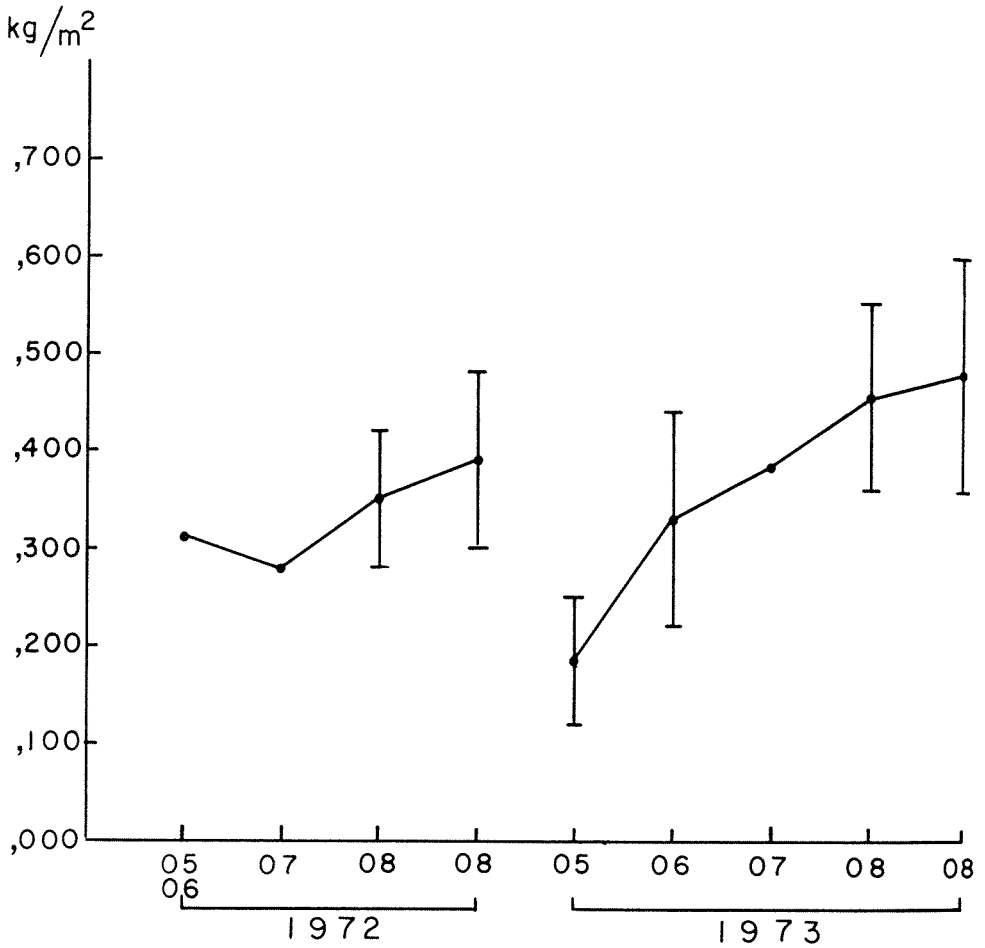


Figure 3. Biomasse mensuelle des Fucalae en poids sec (moyenne et intervalle de confiance ($P \leq 0,05$)) durant les deux années d'échantillonnage.

TABLEAU III

Taux mensuels d'augmentation de la biomasse (g poids sec/ m²/ mois) par mode, au cours des deux saisons d'échantillonnage

Mois	1972			1973		
	Abrité	Semi battu	Battu	Abrité	Semi battu	Battu
Mai	79	—	-55	294	137	-91
Juin	—	—	—	-99	137	65
Juillet	78	39	233	152	3	182
Août	122	-34	170	58	28	-41

fois) et par Brinkhuis (1977) pour *Ascophyllum nodosum* (1,8 fois) et *F. vesiculosus* (2,3 fois).

Nous avons remarqué par ailleurs en 1972 un pourcentage de dépeuplement plus fort en juin et en septembre, alors qu'en 1973 le dépeuplement maximal intervenait en août-septembre. Les pertes de biomasse coïncident bien avec les variations saisonnières des taux d'augmentation de la biomasse observés à chaque été; les différences positives de biomasse d'un mois à l'autre sont en effet supérieures lorsque les pourcentages de dépeuplement sont minimaux.

ACTIVITÉ PHOTOSYNTHÉTIQUE

Des mesures d'activité photosynthétique furent réalisées entre mai 1975 et janvier 1976 sur *F. vesiculosus* dans le mode semibattu de Cap-à-l'Original. Les variances obtenues étant hétérogènes, l'étude statistique des variations obtenues se fit au moyen d'un test paramétrique permettant de comparer plusieurs moyennes d'échantillons dans pareille situation (Sokal et Rohlf, 1969). Cette analyse fut incapable de déceler une différence significative dans l'activité des parties végétatives (sans l'apex) des algues âgées de plus d'un an.

Toutefois il existe des variations dans l'activité photosynthétique (fig. 4), mais elles s'avèrent généralement d'amplitude assez réduite. C'est ainsi qu'on peut difficilement les qualifier de variations saisonnières, tout au plus s'agit-il d'écarts au comportement général. Il apparaît en somme que l'activité photosynthétique se maintient relativement stable de mai à septembre.

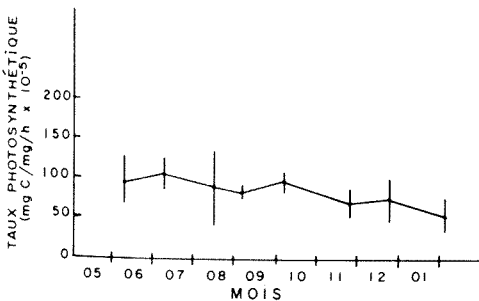


Figure 4. Valeur des taux photosynthétiques mesurés au cours de l'année 1975 chez *Fucus vesiculosus* pour une intensité lumineuse de 245 W/m^2 (moyenne et intervalle de confiance ($P \leq 0,05$)).

Discussion et conclusion

Une mesure indirecte de la production à partir d'une étude des biomasses est généralement obtenue en assumant que la différence entre la biomasse maximale atteinte au cours de la saison estivale et de la biomasse minimale printanière représente approximativement la production annuelle nette (Borutzski, *vide* Mann, 1969; Westlake, 1963; 1966; Luning, 1969; Bellamy *et al.*, 1968; Blinks, 1955; Clendening, 1960; McFarlane, 1952; Round et Hickman, 1971).

Cette hypothèse d'équivalence fut contestée notamment par Mann (1972): ce dernier démontra qu'en ce qui concerne les Laminariales de Nouvelle-Écosse, les lames renouvellent leur biomasse plusieurs fois par année, si bien que la biomasse maximale mesurée ne peut en aucun temps représenter la production annuelle nette; Chapman et Craigie (1977) confirmaient d'ailleurs récemment ces résultats. Pérez (1969) a aussi observé ce phénomène chez *Laminaria digitata* sur les côtes de France. Toutefois, la productivité des Fucales ne serait pas aussi spectaculaire, puisqu'elles ne renouvelleraient leur biomasse que 2 ou 3 fois selon Brinkhuis (1977). Il demeure de toute façon très hasardeux de considérer le maximum annuel de biomasse comme une estimation valable de la production annuelle nette.

D'après Burrows (1955), le taux de croissance des Fucales est supérieur pendant l'été. Nous ne sommes cependant pas en mesure de confirmer cette conclusion puisque notre étude de biomasse s'est limitée à la période estivale. Par ailleurs, le taux de dépeuplement des Fucales pendant l'été est inférieur aux taux retrouvés à l'automne et à l'hiver (25% à l'été, 45-54% à l'automne et l'hiver), ce qui indiquerait une biomasse maximale à l'été.

Afin de visualiser l'importance du renouvellement de la biomasse au sein de la population des Fucales de Cap-à l'Original, nous ferons tout de même dans un premier temps une estimation de la production annuelle comme étant la différence entre les valeurs maximales et minimales des biomasses mesurées, soit un ΔB estival moyen pour 1972 et 1973 de 279 g/m^2 pour la région de Cap-à l'Original. D'après des analyses réalisées en 1972 dans notre laboratoire, les Fucales de cette région auraient une valeur moyenne de carbone de $0,35 \text{ g/g}$ de poids sec. En utilisant dans ce contexte ce facteur

de conversion, on obtient un taux de production annuelle net de $97,65 \text{ g C/m}^2 / \text{an}$ pour tout l'étage médiolittoral. En plus de sous-estimer ainsi la quantité de matière organique produite, puisque le tout s'appuie sur des mesures recouvrant quelques mois seulement, et exclut plusieurs espèces à faible biomasse, cette estimation néglige les facteurs de perte de biomasse tels l'érosion, le broutage, la matière organique dissoute et la respiration. Khaïlov et Burlakova (1969) ont estimé chacun de ces facteurs pour les macrophytes de la mer de Barentz et de la mer Noire: de la biomasse produite, 14,2% servirait à la respiration, 37,3% serait libérée en matière organique dissoute (35% selon Hatcher, *et al.*, 1977), et 11,2% serait consommée par les herbivores. Nous avons pour notre part estimé le taux de dépeuplement estival à 25%.

Si l'on utilise ces estimations de Khaïlov et Burlakova, et que l'on ajoute ainsi à la biomasse maximale les pertes dues au broutage (11%), à l'excrétion de matière organique dissoute (37%) et au dépeuplement (25%), nous obtenons une nouvelle estimation de production annuelle nette plus réaliste de 169 gC/m^2 . Cette méthode d'estimation de la production annuelle nette basée sur la différence entre deux séries de mesures durant la saison de croissance ne constitue, nous l'avons déjà mentionné, qu'une vague estimation qui ne permet pas une juste comparaison entre les taux de production de diverses régions, surtout si la biomasse mesurable est sujette d'une part aux influences négatives du climat, de l'érosion et du broutage intense, et d'autre part à un renouvellement actif. Une estimation plus précise de la production de ces algues médiolittorales peut cependant être obtenue; il suffit de conjuguer les données de biomasse aux connaissances acquises sur l'activité photosynthétique d'algues de cette localité, en l'occurrence *F. vesiculosus* sur lequel nous avons expérimenté.

Certaines concessions devront cependant être consenties là encore. En premier lieu, la période d'évaluation de biomasse ne s'étend que de mai à août inclusivement. Ainsi il sera supposé que la biomasse d'avril est la même que celle de mai, et celle de septembre à novembre sont identiques à celle de la fin d'août, l'arrachement étant compensé par la croissance.

Une autre difficulté importante provient du fait que, à défaut d'une station météorologique à proximité de Cap-à-l'Original, les

données d'insolation enregistrées de façon continue sur de longues périodes proviennent de Sept-Îles, localité sise sur la rive nord de l'Estuaire à quelque 250 km en aval de notre station d'échantillonnage. Même si l'énergie lumineuse utilisable était mesurée *in situ* lors de chacune de nos incubations sur le terrain, les valeurs de production mensuelle apparaissant au tableau 4 ont donc dû être calculées à partir de ces données en provenance de Sept-Îles. Il faudra de plus supposer que le rendement photosynthétique en émergence est identique à celui obtenu lorsque les algues sont immergées. À ce sujet, la littérature présente des opinions fort contradictoires: si Bidwell et Craigie (1963) considèrent que hors de l'eau, le *Fucus vesiculosus* est pratiquement incapable de toute activité photosynthétique, Johnston *et al.* (sous presse) ont trouvé que la photosynthèse du *Fucus distichus* en émergence pouvait être jusqu'à six fois supérieure à celle mesurée en immersion. Par ailleurs, Brinkhuis *et al.* (1976) et Kremer et Schmitz (1973) remarquent que les taux atteints en immersion sont légèrement supérieurs à ceux obtenus en émergence, chez le *Fucus vesiculosus*.

Il faudra de plus ignorer les mécanismes de fixation du carbone autres que la photosynthèse. De façon générale, chez les Fucacées, ceux-ci représentent entre 1 et 4% selon que l'algue est émergée ou immergée (Kremer et Schmitz, 1973).

Cette estimation devra aussi négliger la quantité de matière organique élaborée et aussitôt excrétée pendant la période d'incubation. Enfin, une telle estimation ne considère pas que dans son environnement naturel, le *F. vesiculosus* croît en groupes très serrés où chaque segment doit lutter pour la lumière; ceci est d'autant plus important en émergence, alors que les thalles reposent les uns sur les autres, les éléments du dessus interdisant tout éclaircissement des couches inférieures. L'effet de cette compétition peut être considérable allant, dans les cas extrêmes, jusqu'à faire en sorte que ce qui est produit par la photosynthèse pendant le jour est complètement utilisé par la respiration quotidienne (Kanwisher, 1966). Puisque les données de ce travail ne permettent pas d'évaluer l'importance de ces phénomènes, force est donc de les ignorer sciemment.

Les valeurs mensuelles de production furent calculées en utilisant les taux photosynthétiques mesurés en 1975, chez les parties végétatives des individus âgés de

TABLEAU IV

Estimation de la production mensuelle de *F. vesiculosus* par les taux photosynthétiques

Mois	Taux photosynthétique moyen (mg C/mg/h $\times 10^{-5}$)	Quantité d'énergie lumineuse moyenne (W/m^2)	Taux photosynthétique corrigé (mg C/mg/h $\times 10^{-5}$)	Nombre d'heures d'éclairement (h)	Biomasse ($mg/m^2 \times 10^4$)	Production ($mg C/m^2 \times mois$)
avril	40,0	131	25,7	446	3,5	4012
mai	40,0	176	32,0	506	3,5	5667
juin	98,4	145	78,6	540	4,5	19100
juillet	106,0	138	83,5	528	4,7	20721
août	90,1	139	69,8	484	5,7	19256
septembre	85,4	107	65,7	414	5,7	15504
octobre	97,2	94	62,6	310	5,7	11061
novembre	97,2	58	62,0	300	5,7	10602

Cap-à-l'Original. Ces taux furent transformés en fonction de la moyenne mensuelle d'éclairement (Gagné, 1977).

Les données de base ainsi que les résultats obtenus sont présentés au tableau IV. Les valeurs les plus élevées se rencontrent de juin à août, le maximum se situant en juillet, à 21 g C fixés par mètre carré. Sur une base annuelle, les *Fucus vesiculosus* de Cap-à-l'Original, fixent aux environs de 106 g C/m².

Cette valeur de production annuelle obtenue à partir des taux photosynthétiques de *Fucus vesiculosus* est en moyenne, selon le mode, de 0,93 (abrité), 2,5 (semi-battu) et 3,7 (battu) fois supérieure à la valeur retrouvée pour cette même espèce par la méthode des biomasses (ΔB) corrigée pour la quantité perdue par broutage et par dépeuplement, facteurs n'affectant pas l'estimation faite par le ¹⁴C.

Cet écart entre la production de biomasse prédite par les taux photosynthétiques et la production de biomasse réellement mesurée nous donne donc une évaluation du renouvellement de biomasse pour *F. vesiculosus* de l'ordre de 2 (moyenne du médiolittoral pour les deux saisons: 1,7). Brinkhuis (1977) avait trouvé des valeurs de 1,8 pour *A. nodosum* et de 2,3 pour *F. vesiculosus*.

À Cap-à-l'Original, *F. vesiculosus* ne représente que 16% de la biomasse totale des algues. En prenant pour acquis que toutes les espèces de Fucales possèdent des capacités de production comparables à cette dernière, leur contribution collective atteindrait 624 gC/m²/an.

Cette estimation de la production par les taux photosynthétiques serait exactement du même ordre que celle rapportée par Westlake (1963) pour des Fucales colonisant le littoral atlantique. Elle est cependant inférieure aux 1750 gC/m²/an mesurés par Mann (1972) pour une communauté benthique néo-écossaise composée à 80% de Laminariales, les Fucales n'y constituant à peine que 19% de la biomasse totale. La production des Fucales de la station de Cap-à-l'Original, telle que mesurée ici, se comparerait donc fort bien à celle retrouvée chez les communautés d'algues benthiques colonisant la côte Atlantique de l'Amérique du Nord.

Dans l'estuaire du Saint-Laurent, les conditions climatiques constituent une contrainte importante pour la production des algues du littoral; non seulement réduisent-elles à 8 mois la période de croissance, mais encore emportent-elles une partie importante de leur biomasse lors de leur départ printanier. La population initiale est donc assez réduite au début de la saison, situation qui est à la base d'une constatation intéressante. En effet, la population printanière de *F. vesiculosus* (11 gC/m²) produit environ 10 fois son propre poids en matière organique (106 gC/m²), et ce en 8 mois seulement. C'est là une excellente performance surtout si l'on considère que pour 12 mois, les très productives Laminaires adultes de la baie de St. Margaret présentent un rapport production/biomasse allant de 4 à 13 selon les espèces (Mann, 1972).

Ainsi les Fucales de l'estuaire du Saint-Laurent semblent n'avoir rien à envier aux

autres algues. En fait, par unité de surface, elles sont plus productives que le phytoplancton de la même région dont la contribution se situe aux environs de 30 gC/m²/an (Therriault, 1973). Or, de toute cette matière organique formée, le tiers seulement sert à l'augmentation de la biomasse, le reste allant enrichir le milieu.

Même si ces données ne permettent pas d'estimer rigoureusement la contribution annuelle des algues benthiques à la production primaire de l'Estuaire entier, l'omission de l'étage infralittoral — d'où des Laminariales — et de la microflore benthique rendant cette estimation minimale, elles précisent néanmoins l'un des rôles écologiques essentiels qu'y joue la frange littorale, soit une production de matière organique fort importante.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Ministère de l'éducation du Québec et le Conseil national des recherches du Canada qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail grâce aux subventions accordées au GIROQ, à l'aide financière aux deux premiers auteurs (MEQ) et aux subventions de fonctionnement versées à A. Cardinal (CNRC).

Références

- BELLAMY, D. J., D. M. JOHN and A. WHITTICK, 1968. The "kelp forest ecosystem" as a "phytometer" in the study of pollution of the inshore environment. — Underwater Ass. Rep.: 79-82.
- BIDWELL, R. G. S., and J. S. CRAIGIE, 1963. A note on the greatly reduced ability of *Fucus vesiculosus* to absorb or to evolve CO₂ when not submerged. — Can. J. Bot., 41: 179-182.
- BLACKLER, H., 1955. Observations of the time of reproduction and the rate of growth of certain Fucaeeae. — Proc. Intl. Seaweed Symp., 2: 158-162.
- BLINKS, L. R., 1955. Photosynthesis and productivity of littoral marine algae. — J. mar. Res., 14: 363-373.
- BRETON-PROVENCHER, M., 1976. Aspects écologiques de la production des algues benthiques médiolittorales de la région de Bic, estuaire maritime du Saint-Laurent. — Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 189 p.
- BRINKHUIS, B. H., 1977. Comparisons of salt-marsh Fucoid production estimated from three different indices. — J. Phycol., 13: 328-335.
- BRINKHUIS, B. H., N. R. TEMPEL and R. F. JONES, 1976. Photosynthesis and respiration of exposed salt marsh Fucoids. — Mar. Biol., 34: 349-359.
- BURROWS, E. M., 1955. Growth control in the Fucaeeae. — Proc. Intl. Seaweed Symp., 2: 163-170.
- CHAPMAN, A. R. O., and J. S. CRAIGIE, 1977. Seasonal growth in *Laminaria longicruris*; relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. — Mar. Biol., 40: 197-205.
- CLENDENING, K. A., 1960. Organic productivity of giant kelp areas. Kelp Inv. Prog., Quart. Prog. Rep. July-Sept. 1959. — Univ. Calif. Inst. Mar. Res., IMR Ref. 60-61: 1-11.
- GAGNÉ, J., 1977. Étude par le ¹⁴C de la production chez le *Fucus vesiculosus* dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. — Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 161 p.
- GAGNÉ, J., J. LAROCHELLE and A. CARDINAL, sous presse. A Solubilization technique to prepare algal tissue for liquid scintillation counting, with reference to *Fucus vesiculosus* L. — Phycologia, 18: 168-170.
- GOUNOT, M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. — Masson et Cie, Paris, 314 p.
- HALTON, H., 1932. Quelques observations sur le repeuplement en *Fucus vesiculosus* des surfaces rocheuses dénudées. — Bull. Lab. marit. Saint-Servan, N° 9, 6 p.
- HATCHER, B. G., A. R. O. CHAPMAN and K. H. MANN, 1977. An annual carbon budget for the kelp *Laminaria longicruris*. — Mar. Biol., 44: 85-96.
- JOHNSTON, C. S., N. C. FERRIER and R. G. JONES, (in press). A critical assessment of estimates of macroalgal production based on short term measurements of photosynthesis. — Proc. Intl. Seaweed Symposium, 8.
- KANWISHER, J. W., 1966. Photosynthesis and respiration in some seaweeds, 407-420. In: H. Barnes (Ed.), Some contemporary studies in marine science. — Allen and Unwin, London.
- KHAILOV, K. M., and Z. P. BURLAKOVA, 1969. Release of dissolved organic matter by marine seaweeds and distribution of total organic production to inshore communities. — Limnol. Oceanogr., 14: 521-527.
- KLUGH, A. B., and J. R. MARTIN, 1927. The growth rate of certain marine algae in relation to the depth of submergence. — Ecol., 8: 221-231.
- KNIGHT, M., and M. PARKE, 1950. A biological study of *Fucus vesiculosus* L. and *F. serratus* L.-J. mar. biol. Ass. U.K., 29: 439-514.
- KREMER, B.P., and K. SCHMITZ, 1973. Carbon dioxide fixation and translocation in benthic marine algae. — Z. Pflanzenphysiol., 68: 357-363.
- LÜNING, K., 1969. Standing crop and leaf area index of the sublittoral *Laminaria* species near Helgoland. — Mar. Biol., 3: 282-286.
- MACFARLANE, C., 1952. A survey of certain seaweeds of commercial importance in Southwest Nova Scotia. — Can. J. Bot., 30: 78-97.

- MANN, K. H., 1969. The dynamics of aquatic ecosystems. — *Adv. Ecol. Res.*, 6: 1-81.
- MANN, K. H., 1972. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic Coast of Canada. II. Productivity of the seaweeds. — *Mar. Biol.*, 14: 199-209.
- NOTA, D. J. G., and D. H. LORING, 1964. Recent depositional conditions in the St. Lawrence River and Gulf. A reconnaissance survey. — *Mar. Geol.*, 2: 198-235.
- PEREZ, R., 1969. Croissance de *Laminaria digitata* (L.) Lamouroux étudiée sur trois années consécutives. — *Proc. Intl. Seaweed Symp.*, 6: 329-344.
- ROUND, F. E., and M. HICKMAN, 1971. Phyto-benthos sampling and estimating of primary production. *In*: N. A. Holme and A. D. McIntyre, (Eds). *Methods for the study of marine benthos*. IBP Handbook, 16: 169-195. Blackwell Sci. Publ., Oxford and Edinburgh.
- SOKAL, R. R., and F. L. ROHLF, 1969. *Biometry*. — W. H. Freeman & Co., San Francisco, 776 p.
- THERRIAULT, J. C., 1973. Variations des propriétés physico-chimiques et biologiques d'une zone de mélange de l'estuaire du Saint-Laurent. — Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 154 p.
- WESTLAKE, D. F., 1963. Comparisons of plant productivity. — *Biol. Rev.*, 38: 385-425.
- WESTLAKE, D. F., 1966. The biomass and productivity of *Glyceria maxima*. I. Seasonal changes in biomass. — *J. Ecol.*, 54: 745-753.

BENTHIC MOLLUSCAN FAUNA OF THE ST. LAWRENCE ESTUARY AND ITS ECOLOGY AS ASSESSED BY NUMERICAL METHODS

Ginette ROBERT

*Fisheries & Oceans Canada, Fisheries & Marine Service,
Resource Branch, P.O. Box 550, Halifax, N.S., B3J 2S7*

Résumé

En faisant l'étude des mollusques endobenthiques de la zone infralittorale de l'estuaire du Saint-Laurent sur la côte est du Canada on a déterminé les espèces présentes et leur distribution au point de vue densité et diversité; on a de plus relié cette distribution à des facteurs du milieu. On échantillonna avec une drague ancreuse à des intervalles de profondeur fixes le long de transects. Des techniques de classification mathématique ont établi les patrons des assemblages de mollusques; on les a aussi examinés du point de vue diversité et régularité. Une matrice de coefficients de similitude fut obtenue en utilisant le coefficient de Czekanowski; les données furent groupées par la méthode de distance moyenne entre les groupes. On appliqua la formule de Brillouin pour étudier la diversité. L'analyse de similitude des données sur les stations et les indices de diversité indiquèrent une relation entre les six principaux groupes de stations et des facteurs du milieu comme la température et certaines propriétés du substrat. Les indices de diversité obtenus peuvent aussi s'expliquer par la productivité et l'hétérogénéité spatiale des habitats.

Abstract

An investigation of the benthic infaunal molluscs of the sublittoral zone of the St. Lawrence Estuary on the east coast of Canada determined the species present, their distribution in terms of density and diversity, and related distribution to factors of the environment. Sampling was performed with an anchor dredge at fixed depth intervals along transects. The patterns of mollusc assemblages were determined by mathematical classification techniques; they were also investigated in terms of diversity and evenness. A matrix of similarity coefficients was obtained using Czekanowski coefficient; the group-averaging method was used to cluster the data. Brillouin's formula was applied to study diversity. Similarity analysis of station data and diversity indices revealed that the six main clusters of stations may be related to factors of the environment like temperature and properties of the sediment. Productivity and spatial heterogeneity of habitats may also be involved in explaining the diversity results.

Introduction

Prior to 1970, studies in the St. Lawrence Estuary had been concerned mainly with physical, chemical, and geological aspects while the ecology of living systems had been totally neglected. However, this limited knowledge suggested the importance of physical phenomena like mixing and upwelling in affecting the structure and dynamics of the "ecosystems" present. There are many approaches to the study of this estuarine system. A benthos component will be dealt with here. The main objective is to establish the geographic and bathymetric distribution

of the benthic molluscan invertebrates in the lower St. Lawrence Estuary and relate their distribution to factors of the environment.

Studies of the mollusc fauna of the north-western Atlantic waters, principally the works of Ockelmann (1958) and Thorson (1944, 1951) on the Greenland fauna, and the benthic-survey by Nesis (1965) on the Grand Banks and the Labrador coast, were not particularly useful in delimiting the animal assemblages present in the St. Lawrence Estuary. To analyze the data, simple intuitive methods were used; animal assemblages were recognized as "Petersen-type" com-

munities where a few species with high frequencies of occurrence characterize a community. Through its simplicity, this method has many drawbacks which Stephenson, Williams, and Cook (1972) have discussed at length. The objectivity of the mathematical classification techniques is an important asset in making them widely used by modern benthic ecologists. This property of the numerical methods has attracted me, and I have used one of them to determine the patterns of mollusc assemblages in the St. Lawrence Estuary. To amplify the investigation, the structure of the "communities" was also examined in terms of diversity and evenness. An attempt was also made to relate, by statistical methods, some environmental factors to the distributional patterns of the fauna revealed by numerical analysis.

Study Area

The lower St. Lawrence Estuary extends from the Saguenay River upstream to Pointes-des-Monts downstream, a distance of 230 km (Fig. 1). At the upper end, shores are close

together, separated by only 25 km of water, but the Estuary widens to about 50 km at the lower boundary. The approximate total area of the lower Estuary is 8 100 km². Geologically speaking, the system is a submarine U-shaped valley modified by Pleistocene glaciation (Shepard, 1931). The central channel, called the Laurentian Trough, crosses the Gulf of St. Lawrence and reaches the continental slope. Narrow shelves border the trough in the Estuary. The valley is close to 400 m deep in certain areas before it abruptly shoals to only 25 m toward the Saguenay River, and this causes a tremendous impact on the circulation pattern of the deep water (Forrester, 1974).

The Estuary behaves as a three-layered system in which the intermediate layer is seasonal. The surface layer is refreshed by the St. Lawrence River and the Saguenay and is subject to considerable seasonal variations in temperature (0-15°C) and salinity (25-28‰). During winter and spring, the surface layer forms a cold homogeneous layer about 75 m thick. During summer and fall, the mixed layer is 10-25 m thick. Below

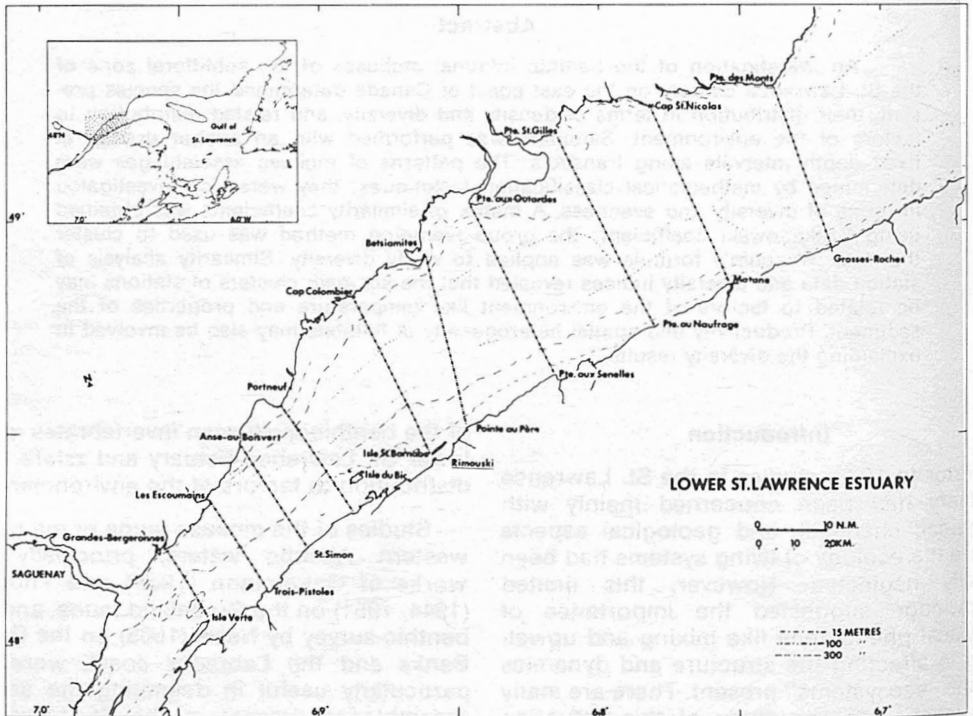


Figure 1. Map of the St. Lawrence Estuary. Dashed lines illustrate transverse transects. The longitudinal transect is formed by a middle station on each transverse transect. The dotted area in the inset shows the portion of the St. Lawrence River system under investigation.

the mixed layer, the salinity increases with depth, and the temperature decreases to a minimum (1°C or less) at a depth of 75-100 m and then increases with a further increase in depth. The region of the temperature minimum, known as the intermediate layer, represents the residuum of winter cooling and mixing. The deep layer is very uniform the year round; it is characterized by waters of Atlantic origin with fairly stable temperatures (2-5°C) and salinities (34‰ or greater) (Forrester, 1964).

Shallowing of the 0°C isotherm during summer months in many areas of the Estuary and especially in the vicinity of Isle Verte indicates turbulent mixing of the water column and suggests the existence of upwelling in the area (Neu, 1970; Steven, 1974; Therriault and Lacroix, 1976; Greisman and Ingram, 1977). This upwelling is in part responsible for introducing deep, nutrient-rich waters into the surface layer.

In the surface layer, river outflow and semidiurnal tides maintain an anti-cyclonic circulation with an eddy center near the Rimouski section. The flow is outward along both shores (El-Sabh, 1977). This sort of water movement partially explains the existence of transverse gradients in temperature and salinity. The fresher and warmer water along the south shore develops farther seaward into the fast Gaspé Current.

Previous work in the area

Excluding the littoral zone which is readily accessible, the St. Lawrence Estuary has been subject to very few benthic investigations. In 1858, Dr. Robert Bell, Jr., collected on the southeastern shore of the Estuary (Bell, 1859). Another geologist, Sir J. W. Dawson, undertook some dredgings from 1859 to 1876 to ascertain how many of the species found in the Pleistocene clays and sands were still living in the Estuary. In his paper on the Canadian Pleistocene fossils, the "Canadian Ice Age", Dawson (1893) made reference to recent species but no separate list was ever published. In 1871, J. F. Whiteaves performed some deep dredging operations for the Dominion Government (Whiteaves, 1875) mainly around Anticosti Island, a little outside the Estuary. No other work was done for sixty years, until, from 1932 to 1936 when J. Risi of the Station biologique du Saint-Laurent did random sampling in the region (Risi, 1936). Inventories of the species identification were sum-

marised in a catalogue by Préfontaine and Brunel (1962) wherein the phylum Mollusca totalled 80 species. In 1901, Whiteaves (1901) had compiled a list of the species collected by the naturalists of the nineteenth century, and even today this reference is the most useful work for the invertebrate fauna of the St. Lawrence Gulf and Estuary.

Methods

SAMPLING PROCEDURES

To make a good exploratory survey, seven transects across the breadth of the Estuary and one along the middle axis of the Estuary were sampled at fixed depths where topography and substrate permitted it (Fig. 1). Position of stations are plotted in Massad and Brunel (1979). Sampling was done at narrowly spaced depth intervals above the thermocline, since considerable fluctuations exist in shallow water environment; depth intervals were gradually spaced out below the thermocline as conditions become more stable in deeper waters. Depth intervals used were: 15, 25, 37, 64, 90, 119, 146, 183, 225, 256, 293 to 365+ m. The slope was sometimes so steep that sampling was impossible with the gear used. Rocky bottom was also avoided. The data of 73 stations were included in a quantitative survey to establish the structure of the communities. All samples were collected during the summers of 1970, 1971, and 1972. Station positions were fixed by radar and echo sounder; accuracy is about 0.5 nautical mile.

Gear used was a French-designed anchor-type dredge, "Spatangue", of which Bellan (1962) says: "...celle-ci fonctionne à la façon d'un *Spatangue* recherchant sa nourriture... écremage de la pellicule superficielle de sédiment...". This dredge was used for two main reasons. First, the depth of penetration in the sediment had to be fairly constant over different bottom sediments and the apparatus is recognized (Bellan, 1962) to work well on fine sediments. Second, this kind of device allows for wide coverage of a sampling area; it can collect material from approximately 2 m² of bottom before the bag is filled up. The dredge bites through the top six cm of sediment, and this should be deep enough to collect most of the fauna. Lie and Pamatmat (1965), among many workers, report that in permanently submerged areas, the majority of the benthic macrofauna may be found in the top 4-6 cm of the sediment.

To investigate the working efficiency of the dredge, groups of six samples were dredged at one representative middle-depth station (Station 487) over a period of 24 hours. The same volume of sediment was screened for each sample; mollusc species were sorted and counted. The standard deviation was computed for each group and the coefficient of variation was found. These computations give an idea of the range of variation existing between the numbers of specimens for consecutive hauls at a single site. Coefficients of variation of 1-3% show that the dredge must have operated with reliability and that benthic molluscs were sampled efficiently by the collecting device. However, it is quite difficult to take into account natural phenomena like the grouping of animals, and big prosobranch gastropods may not be accurately represented due to their dispersion.

From each dredge haul a subsample was put aside for sediment analysis. The rest of the sample was screened through 1 mm and 0.42 mm mesh. According to Reish (1959), over 90% of the species and total number of specimens should be retained on these mesh sizes. Most of the molluscs are retained on the 1 mm mesh and only this size fraction was worked up. Specimens were kept in 50% isopropanol, once fixed in 4% formalin.

SEDIMENT ANALYSIS

Grain-size studies were performed according to Morgans (1956) for the coarse fraction and Krumbein and Pettijohn (1938) for the fines using an Andreasen sedimentation pipette. Clays were dispersed by sonification (20 KHz) rather than by a chemical agent. Parameters such as mean and median diameters, sorting coefficient, and standard deviation were computed from Folk's formulas (1965).

Organic content of the sediment was obtained from a few representative samples through combustion in a Hewlett-Packard C H N Analyzer. Organic carbon was then converted to organic matter by multiplying the carbon values by a factor of 1.887 following Waksman (1933).

NUMERICAL ANALYSIS

Knowing the thickness of the layer the dredge skimmed off the bottom and the volume of sediment screened per sample; data on animal abundance were converted to

the number of animals per species occurring over a square meter of bottom at each station; a matrix of abundance data was thus obtained.

The matrix included 26 257 animals divided among 102 species of molluscs. 99% of the animals represented 52 species (Table I); the remaining (1%) 50 species occurred rarely, each scoring 15 animals or less for total abundance and providing far less ecological information. (A list and discussion of all species found is presented in Robert, 1974). Faced with so many data, an objective and accurate method of analysis was required to find out the main trends governing the distribution of the fauna. One aim was to define the structure of the groups of species using biological data only, without reference to environmental conditions. Numerical analysis fills these requirements. The analysis proceeds through a few steps. (1) Preparation of data; (2) Computation of a matrix of similarity coefficients; (3) Sorting of data through clustering strategies.

Preparation of data

As Williams and Stephenson (1973) suggest, raw data need some transformation prior to use; otherwise, the most abundant species will be overrepresented compared to those occurring only a few times. Any kind of transformation has its drawbacks. Some are too stringent, while some others are too weak. In the present study, data have been changed to their square-root values to stabilize the variance. Suppose i equals to species or attribute; j equals to station or individual; and X , the number of animals of the i th species at the j th station

$$(or Y_{ij} = \sqrt{X_{ij}} \text{ for transformed data}).$$

Computation of a matrix of similarity coefficients

To compute a matrix of similarity coefficients, the coefficient attributed to Czekanowski was used (Bray and Curtis, 1957).

$$\text{Similarity coefficient, } s_{12} = \frac{\sum_{i=1}^{i=i_n} Y_{i1} - Y_{i2}}{\sum_{i=1}^{i=i_n} Y_{i1} + Y_{i2}}$$

where the numerator is the sum of the lesser abundances of each species for two stations compared, while the denominator is the sum

TABLE I

List of species to which 99% of the molluscs
found belonged

Aplacophora	<i>Astarte montagui striata</i> Leach
<i>Cristallophrisson nitidulum</i> (Lovén)	<i>Astarte subequilatera</i> Sowerby
Polyplacophora	<i>Astarte whiteavesi</i> Dall
<i>Lophyrochiton albus</i> Linnaeus	<i>Crenella glandula</i> (Tottén)
Gastropoda	<i>Cuspidaria glacialis</i> Sars
<i>Alvania castanea</i> (Møller)	<i>Dacrydium vitreum</i> (Møller)
<i>Oenopota mitrula concinnula</i> (Verrill)	<i>Kellia suborbicularis</i> (Montagu)
<i>Oenopota pleurotomaria</i> (Couthouy)	<i>Lyonsia arenosa</i> (Møller)
<i>Oenopota bicarinata violacea</i> (Mig. & Ad.)	<i>Macoma balthica</i> (Linnaeus)
<i>Lunatia pallida</i> (Broderip & Sowerby)	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)
<i>Margarites costalis</i> (Gould)	<i>Macoma inflata</i> (Stimpson M.S.)
<i>Margarites olivaceus</i> (Brown)	<i>Mesodesma arctatum</i> (Conrad)
<i>Mitrella rosacea</i> (Gould)	<i>Musculus niger</i> (Gray)
<i>Natica clausa</i> Broderip & Sowerby	<i>Mya arenaria</i> Linnaeus
<i>Solariella varicosa</i> (Mighels & Adams)	<i>Nucula delphinodonta</i> Mighels & Adams
<i>Tachyrhynchus reticulatum</i> (Mighels)	<i>Nucula tenuis</i> (Montagu)
<i>Aporrhais occidentalis</i> (Beck)	<i>Nuculana buccata</i> (Steenstrup)
<i>Cylichna alba</i> (Brown)	<i>Nuculana minuta</i> (Fabricius)
<i>Philine lima</i> (Brown)	<i>Nuculana pernula</i> (Müller)
<i>Retusa canaliculata</i> Say	<i>Pandora glacialis glacialis</i> (Leach)
<i>Retusa obtusa obtusa</i> Montagu	<i>Portlandia fraterna</i> (Verrill & Bush)
Scaphopoda	<i>Yoldiella iris iris</i> Verrill & Bush
<i>Dentalium occidentale</i> Stimpson	<i>Yoldiella lucida</i> (Loven)
<i>Siphonodentalium lobatum</i> (Sowerby)	<i>Thracia septentrionalis</i> Jeffreys
Bivalvia	<i>Thyasira gouldi</i> (Philippi)
<i>Astarte borealis</i> Schumacher	<i>Thyasira trisinuata</i> (d'Orbigny)
<i>Astarte crenata</i> (Gray)	<i>Venericardia borealis</i> (Conrad)
<i>Astarte elliptica</i> (Brown)	<i>Yoldia myalis</i> (Couthouy)
	<i>Yoldia thracieformis</i> (Stører)

of the measures at the two stations. In this work, a 73 × 73 matrix of coefficients was calculated. The next step is to sort through the matrix of similarity coefficients to arrange the individuals (stations here) in a meaningful way. Different clustering strategies are available; the ones used here first cluster together the individuals most closely related, gradually increasing the size of the clusters. Results may be expressed in a simplified, graphical form as a dendrogram.

Sorting of data through clustering strategies

As Wishart (1969) noted, there is no best clustering strategy. Choosing an appropriate technique is still not easy to do because each one has its unique goals and limitations. Some workers have tried to evaluate the different classifying methods and set definition requirements which they should fulfill (Jardine and Sibson, 1968; Fisher and Van Ness, 1971). But there is a gap between mathematical criteria of excellence and the applicability of sorting algorithms to eco-

logical data. One must keep in mind, especially when dealing with highly heterogeneous data like mine, that the choice of the sorting strategy should depend on the size of the groups studied and what result is wanted, as these authors have pointed out. The classificatory sorting algorithm used in this study is group-average sorting (Lance and Williams, 1967). As Field (pers. comm.) suggests, a Spearman rank correlation test (Siegel, 1956) was then performed on the similarity clusters obtained to test the homogeneity of the relative species abundances in the two objects.

ENVIRONMENTAL DATA

It is possible to establish ranked values for factors of the environment. The significance of environmental factors to the clusters of stations established on the grounds of biological similarity could be reached by non-parametric statistics. Mean temperature and sediment factors like percentage of grain-size classes, median

TABLE II

Significance of environmental factors to the clusters of stations determined by a Mann-Whitney U test.

Set 1 refers to the number of observations of the group being compared to the other groups, for instance A versus BCDEF. Set 2 refers to the number of observations in the other groups. When there are less than 8 observations in the second set, the associated probability to the value of U obtained is listed. Siegel's (1956) table gives only critical U for more than 8 observations in the second set.

Groups	Observations		Variables observed	Mann-Whitney U $\alpha = 0,02$	Critical U	Associated probability
	set 1	set 2				
A vs BCDEF	4	11	temperature	0,5	4,0	
			median diameter	2,0		
B vs CDEF	2	7	% sand, % silt	2,0	4,0	0,167
			% silt, % clay	3,0		
			% sand	3,5		
F vs CDE	2	5	temperature	1,0	13,0	0,095
			organic content	1,5		
			% silt	2,0		
E vs CD	2	5	% clay	0,5	13,0	0,143
			% sand, % silt	2,0		
			% silt	2,0		
C vs D	8	10	organic content	4,0		0,190
A ₁ vs A ₂	5	8	median diameter	3,0		0,071
			% sand	5,0		
			% silt	6,0		

diameter, etc. were ranked to perform a Mann-Whitney U test (Siegel, 1956). Applied to environmental factors, this test compares values from a pair of stations and enables the user to judge whether the environmental factors are significantly ($P < 0,01$) different among station groups.

DIVERSITY AND EVENNESS MEASUREMENTS

Clustering through numerical analysis allows an overall view of heterogeneous data. A closer approach to the study of distribution is rendered possible through diversity and evenness measurements. Species diversity was measured by two indices, the Shannon-Weaver's formula, H' and Brillouin's formula, H . However, since the latter takes into account that the collected data are finite, it is highly preferred to the first one.

$$H = 1/N (\log N! - \sum_{i=1}^S \log n_i!),$$

where N is the total number of individuals in the sample, n_i is the number of animals belonging to species i , and S is the total number of species in the sample. H is expressed in decits per individual.

Evenness, known as J , was also computed. This gives an idea of how the total number of animals is distributed among the species present.

$$J = H/H_{\max} \quad (\text{Pielou, 1969})$$

Results

SEDIMENT VARIABLES

Silt is by far the most prevalent sediment in the part of the Estuary under consideration. Fine sand occurs close to shore but also deeper in the Saguenay area and near Pointe-aux-Outardes. Clays always constitute a small fraction. Gravel is noticeable at only two of the 73 stations studied (Stations 130 and 603). The dominant class is silt-sand (39% of the cases) followed by silt-clay (34%), by sand-silt (27%), and by gravel-sand (3%). The median diameter of the sediment ranges from 2,2 to 7,3 ϕ units ($\phi = 10 \cdot -\log_2$ grain size, mm) or from fine sand to silt-clay. For 50% of the stations, the median diameter varies in the close range of 5 to 6 ϕ units. Decreasing size of the particles coincides with increasing depth but also with horizontal downstream distance. Natural sorting of the sediment fractions ranges from poor to very poor. This may well be explained by the fact that the major input is of glacial origin. The silt-clay combinations of the deep trough always have a very high water content, up to 50% by weight (Loring and Nota (1973)).

Due to practical difficulties, organic content was not determined for every sediment

sample. However, representative samples agree well with results by Loring and Nota (1973) and by Pocklington (1973). Organic matter ranges from less than 1% by weight on narrow shelf areas to 2-5% on the slope and around 5% in bottom basins of the trough. High values might induce slightly reduced conditions. The grey-black color of this sediment testifies to the presence of iron sulphide. At some stations, especially deep ones, shells are coated with a dark, friable layer. It has been known for some time that oxygen may become very low (2-3 ml O₂/l) in the trough (Dugal, 1934).

BIOLOGICAL ANALYSIS THROUGH SIMILARITY GROUPINGS

Clusters sorted by group-average are presented in figure 2. Final linkage of the two super-clusters of stations comes at 9.9% similarity level. Six main clusters of stations are clearly visible (Fig. 2). A few stations do not really belong to any one of the groups either, because of their highly different faunas or because they would have formed an entirely different grouping if sampling had been more extensive; eg., Stations 130, 603, 163 to the right of the dendrogram. In the dendrogram, stations not joined by continuous lines did not differ significantly when submitted to the rank correlation test. To keep this description manageable, I decided that a minimum of five stations would form a group.

SHALLOW WATER CLUSTER (Z < 75 m)

Group A

There is a complete distinction between stations situated above or below the 75 m isobath (Fig. 3). Group A, which includes all stations less than 75 m deep, is only 9.9% similar to the rest of the stations, which are all deeper. Group A may be subdivided into two minor groupings, A₁ and A₂. These link together at a lower level of similarity (40.5%) than do neighboring groups in deeper waters. Their high dissimilarity, compared to groups from deep waters, shows the greater faunal heterogeneity in shallow water, even over a short distance. The average depth of Group A₁ is 49 m versus 21 m for A₂. It is also interesting to note that the shallow stations from both shores intermingle freely in the clusters; for example, a station from the north shore will clump with stations from the south shore at comparable depth rather than join its immediate neighbour from the same

shore (cf. Group A₁). From this, I conclude that proximity to one shore or the other does not affect the distribution pattern of the shallow water fauna. Species responsible for establishing the shallow water groupings are numerous and limited in depth range. *Crenella glandula*, the most abundant species above 25 m, is seldom present below this depth. Other bivalves, including a few species of the genus *Astarte*, *Dacrydium vitreum*, and *Lyonsia arenosa* constitute the other representative species in shallow water.

DEEP WATER CLUSTERS (Z > 75 m)

All other clusters of stations lie below the 75 m isobath but depth is not the only dividing criterion; geographic location in the Estuary also determines groupings of stations. In general, adjacent clusters in deep water are linked at higher similarity levels than the assemblages in shallow water.

Group B

This cluster of stations with an average depth of 345 m stands apart and joins the main deep water clusters last, just before all these groups unite at the 30.2% similarity level. Geographic location contributes more to this low similarity than the vertical gradient. All deep water stations of Group B are located in the central trough farther downstream than any other site at equivalent depth. The bivalve genus *Batharca* and the scaphopods *Dentalium occidentale* and *Siphonodentalium lobatum* are represented here, whereas they do not occur at all farther upstream in the Estuary. The other species present are represented in the remaining groups. Judging the homogeneity of the relative species abundances in the two clusters by a test of rank correlation, it was concluded that there was no reason to reject the hypothesis that they were the same. That may not be the case, since more extensive sampling in the area may add details revealing some groupings unknown so far.

Group C

To Group C belong stations located on the south shore between 100 and 220 m depths. They are quite a homogeneous grouping, since they have 57.6% similarity. Bivalves account for such intense clumping. *Thyasira gouldi* and *Portlandia fraterna* outrank every other species in frequency of oc-

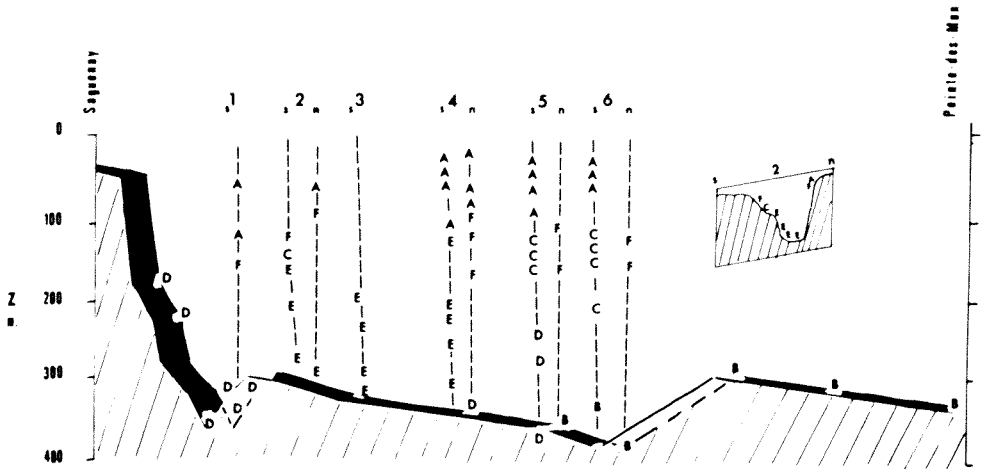


Figure 3. Longitudinal profile of the St. Lawrence Estuary showing the different transverse transects, from the south (S) shore to the north (N) shore. Stations have been clustered in groups A, B, C, D, E, and F through similarity analysis. A₁ and A₂, D₁ and D₂ are not distinguished.

current and abundance, while *Dacrydium vitreum* and *Nuculana buccata* are less abundant.

Group D

Group D, neighbour to Group C, joins it at 52.1% similarity and is just below it in depth range (220-357 m) (Fig. 3). Group D may be subdivided to reveal two small clumps with an identity of their own (63.3% similar). D₁, excluding station 92, collects stations bathymetrically adjacent to Group C stations. But D₂, which on average is deeper than D₁, is made of the deep stations of the Saguenay area. Aplacophorans are more important at the upper end of the Estuary in Group D₂, as is *Astarte whiteavesi*. The most abundant species like *Yoldiella lucida* and *Thyasira gouldi* are shared by both clumps.

Group E

Group E is a diverse combination of stations from 183 to 220 m deep which joins Groups C and D at the 41.8% similarity level. These stations are united more by location than by being on a depth gradient. Besides Stations 270 and 390 located in mid-channel, all others are situated in the upper third of the Estuary between Saint Simon and Rimouski (Fig. 1) on the south shore. No north shore counterpart exists because the topography is too steep. Species occurring here are the ever present ones like *Nuculana buccata* and *Thyasira gouldi*, but the num-

bers of animals are small compared to similar stations upstream, at the Saguenay.

Group F

Group F is made up almost entirely of north shore stations between 86 and 165 m deep, upstream from the Manicouagan peninsula. These join C, D, and E at 38.2% similarity just before Group B is incorporated to complete the deep water clustering. Prior to this, an undifferentiated small cluster joins C, D, and E at 38.7% similarity. This negligible difference (38.2% versus 38.7%) between Group F and the undifferentiated cluster is supported by the close geographic proximity of these sites even if the fauna is different enough to separate them when they are submitted to numerical analysis. The fauna is very poor in both cases, consisting of a few species with a low abundance of animals. While *Astarte whiteavesi* is rather important at stations of the undifferentiated cluster, *Thyasira gouldi* outnumbers all other species at stations of Group F.

In summary, station analysis has revealed that: 1) Stations were not found to fall into clusters according to continuous and even depth gradients. There was a sharp boundary at 75 m splitting the biome apart. 2) Shallow water clusters were composed of stations having the same depth range from all over the sampled area. Clusters were distributed following depth contours. Stations less than 20 m deep constitute Group A₂,

while in A₁, stations deeper than 20 m link first with stations of the same depth before linking with stations from the same shore. 3) Deep water clusters show less vertical stratification of the groups of stations but high regional clumping; mid-depth stations from the south shore (C) differ from the ones of the north shore (F); central trough stations upstream (D) (Saguenay area) are different from a mid-Estuary cluster (E) and from a downstream cluster (B).

These clusters of stations have been selected by statistical means on grounds of biological similarity, that is by abundance data of species represented per site. So far, no environmental features have been taken into account. If the animals of Group A occur in the upper 75 m and not below, they have a suitable environment in the upper depths. What makes the environment favorable for them? Or is Group A the only one able to survive in shallow water?

A Mann-Whitney U test was used to judge whether environmental factors were significant to each of the stations groupings defined previously by similarity analysis.

There is such a clear-cut separation between shallow water clusters and deep water ones that Groups A versus B, C, D, E, and F were investigated first. The boundary line is found at the isobath between the two main water layers in the Estuary, the surface layer, and the deep layer. Temperature singles out Group A with high significance (Table II). In the surface layer, temperature ranges over more than 15 C annually, while below the thermocline it varies by only a few degrees. The median diameter of the sediment, % sand, and % silt differentiate Group A from the deeper groups to the same extent. Minimum and maximum values for median diameter of the sediment are 1,3 and 5,9 ϕ . A₁ stations were always on sandier sediments (70% sand by weight) than A₂ stations (45% sand by weight) as a result of water turbulence over the shallows; that is, waves, tidal currents, and storms which wash out most of the fines from bottom sediments at A₁.

In the deep water clusters, Group B unites stations located in the bottom basins of the mid-channel. The different fractions of the sediment define B to the same extent.

Group F stations, with two exceptions, Stations 167 and 230, are the north shore mid-depth ones. Temperature, organic content, and % silt separate F from groups C,

D, and E. Because F is situated in the lower part of the depth range of the thermocline, temperature fluctuates more there than for the other deep groups. Farquharson (1966) established that the inflow in the deep layer is strongest on the northern side of the channel and at about these depths. Consequently, there is little settlement of fine particles and lower organic content in the sediment. The proximity of three very important north shore rivers may play a role. Silt percentages, 55% on average, are also lower, even lower than at south shore stations of comparable depths across the channel; for example, Group C is 75% silt on average.

Group E stations, with considerable variation in depth range, differ from C and D by sediment grain-size, % clay, then % sand and silt. At these stations, the sediment contains less clay and less sand than at C and D stations but, in some cases, more than 80% silt.

In comparing Groups C and D, organic content is the only variable different enough to be significant. Values at D, whether from the Saguenay area (D₂) or downstream (D₁), are higher than values for stations in C. Group C precedes Group D along a depth gradient. All other factors considered are too similar to be significant. Organic matter is known to increase with depth in the Estuary.

Given the significant environmental variables for the clusters of stations, it is possible to relate them in a broad pattern. However, the Mann-Whitney U test could not include all influences on the bottom fauna. The significance of primary production, suspended matter in the bottom waters, particulate organic material, etc. is unknown or partially assessed, without taking into account animal interactions.

DIVERSITY AND EVENNESS MEASUREMENTS

The analysis of the diversity (H) and evenness (J) patterns will try to show the relations of the fauna to the environment it encounters. H and J values are based on the species contents of a 1 m² × 0,06 m thick dredge sample. Table III is a compilation of the diversity results obtained with Brillouin's formula (H) and Shannon-Weaver's formula (H'). As Pielou (1966) has pointed out, H rather than H' is the more appropriate measure in a situation when one is not taking a sample of size N from a larger universe but is measuring a factor (H) which exists on a local scale. H' results are included for comparison's sake.

TABLE III

Diversity and evenness indices based on mollusc data from the St. Lawrence Estuary. *S* is the number of species per sample. *N* is the number of individuals per sample. *H* is the diversity index calculated from Brillouin's formula. *H'* is the diversity index calculated from Shannon-Weaver's formula. H_{max} is $\log(S)$ and *J* is the evenness computed from Pielou's formula, Pielou (1969). The groups of stations were obtained through similarity analysis. Stations not clustered in any groups are omitted.

Station	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>H</i>	<i>H'</i>	H_{max}	<i>J</i>
Group A ₁						
610	15	253	0,75	0,69	1,18	0,64
418	15	121	0,73	0,81	1,18	0,62
298	18	261	0,80	0,81	1,26	0,63
518	15	1044	0,30	0,29	1,17	0,26
397.8	19	1140	0,18	0,17	1,28	0,14
514	18	555	0,46	0,40	1,26	0,37
398.8	33	1009	0,38	0,34	1,52	0,25
432	34	444	0,98	0,99	1,53	0,64
Group A ₂						
607	20	345	0,84	0,77	1,30	0,65
508	21	623	0,94	0,77	1,32	0,71
504	19	401	0,92	0,83	1,28	0,72
412	20	385	0,89	0,90	1,30	0,68
405	18	334	0,93	0,91	1,26	0,74
Group B						
950	8	45	0,58	0,67	0,90	0,64
671	6	50	0,55	0,61	0,78	0,71
637	7	80	0,56	0,61	0,85	0,66
569.2	6	56	0,43	0,50	0,78	0,55
844	7	24	0,60	0,73	0,85	0,71
650	5	17	0,37	0,48	0,70	0,53
750	9	36	0,63	0,74	0,95	0,66
Group C						
619	6	828	0,73	0,67	0,78	0,94
523	9	242	0,55	0,57	0,95	0,58
520	7	349	0,68	0,69	0,85	0,80
525	7	240	0,60	0,49	0,85	0,71
232	12	261	0,75	0,77	1,08	0,69
615	13	347	0,64	0,62	1,11	0,58
627	10	169	0,48	0,71	1,00	0,48
623	9	139	0,40	0,54	0,95	0,42
Group D ₁						
460	6	162	0,31	0,52	0,78	0,40
547.1	8	136	0,45	0,59	0,90	0,45
533	10	175	0,38	0,62	1,00	0,38
531	9	172	0,39	0,63	0,95	0,41
92	10	241	0,64	0,66	1,00	0,64
Group D ₂						
94.1	15	890	0,64	0,56	1,18	0,54
92.7	12	418	0,78	0,76	1,07	0,73
92.2	12	425	0,71	0,56	1,07	0,66
181.5	8	574	0,41	0,41	,90	0,46
180	13	241	0,58	0,60	1,11	0,52
Group E						
390	6	248	0,49	0,51	0,78	0,63
238	8	259	0,45	0,62	0,90	0,50
247	9	358	0,70	0,70	0,95	0,46
270	9	344	0,44	0,43	0,95	0,46
442	7	168	0,40	0,61	0,85	0,47
370	8	222	0,32	0,59	0,90	0,35
435.7	13	309	0,69	0,70	1,11	0,62
438	10	107	0,73	0,67	1,00	0,73
433	10	243	0,70	0,94	1,00	0,70
233	12	213	0,40	0,73	1,08	0,37

TABLE III (continued)

Station	S	N	H	H'	H _{max}	J
363	7	72	0,24	0,64	0,85	0,28
436.2	14	425	0,43	0,75	1,15	0,37
365	13	1915	0,89	0,62	1,11	0,80
Group F						
696	9	289	0,23	0,23	0,95	0,24
594	10	270	0,27	0,27	1,00	0,27
487	9	544	0,24	0,25	0,95	0,25
476	12	350	0,22	0,22	1,07	0,20
589	9	289	0,10	0,10	0,95	0,11
497	18	631	0,51	0,54	1,26	0,40
292	18	226	0,24	0,53	1,26	0,19
230	9	79	0,49	0,53	0,95	0,52
681.1	8	64	0,27	0,32	0,90	0,30
167	11	118	0,59	0,66	1,04	0,57

Diversity indices of stations clustered through similarity analysis are often very similar (Table III), indicating uniform responses to very similar environments. Shallow water stations (except Stations 398,8, 397,8, 514, and 518) have the highest values of H, always greater than 0,7, but J varies from 0,62 to 0,74. Next lower in diversity are the deep water stations of the Saguenay area (D₂) with H varying from 0,41 to 0,78. D₁ stations (except Station 92) have a rather low diversity (0,31 to 0,45). Mid-depth stations have different indices depending on whether they occur on the south side (C) or the north side (F) of the Estuary. At the south shore stations, H varies from 0,40 to 0,75 while at north shore stations, H goes from 0,10 to 0,51 (when Stations 167 and 230 are excluded). These are the lowest values for the whole Estuary. Trough stations located downstream (B) have the same H as mid-depth stations (E). So many stations are within this diversity range (0,5 to 0,6 decits per individual) that they indicate a significant feature of the diversity pattern in the stable water below the thermocline.

A Kruskal-Wallis test (Siegel, 1956) was performed on the evenness measurements of seven similarity clusters of stations to judge whether evenness results were affected by the groupings of stations. (Clusters A₁ and A₂ were not distinguished, whereas D₁ and D₂ were.) It was concluded that J varies significantly with the clusters of stations (df = 6, P < ,001).

In summary, stations above the thermocline have high diversity. In deeper water, diversity levels off at a low value with little variation, especially below 200 m. As representative transects 400 and 600 illustrate

(Fig. 4), values of H decrease even more when the line of stations goes up the north slope.

I tried to relate diversity indices to factors of the environment, considering the factors temperature, median diameter of the sediment, % sand, % silt, % clay, and organic content of the sediment. There appears to be no relation between the variations in H and the environmental variables considered. A combination of physical factors must govern the species assemblages and its structures, rather than single discrete factors. Temperature, as one major factor, produces a sharp boundary that few species can cross. The sediment then determines in a more precise manner which types of animals will be present. Below the thermocline the Estuary is primarily silty and it can only sustain animals which thrive on or tolerate a great deal of fine sediment. As soon as there is a patch of mixed or coarse sediment, species richness increases tremendously; such is the case at Stations 365, 432, and 527, where phyla not represented otherwise appear.

Diversity is also related to the number of individuals of the dominant species in a sample and whether this species is a suspension or detritus-feeder (Fig. 5). For my purpose, a species is dominant if its number of individuals is at least 10% greater than the second most abundant species. The range of H fluctuates widely, and the number of animals per species varies broadly. Of course, H tends to be low when the dominant species is represented by hundreds or even a thousand animals. In cases where the dominant species numbers just a hundred or so, H is restricted to mid-values. It is almost exclusively under these conditions that detri-

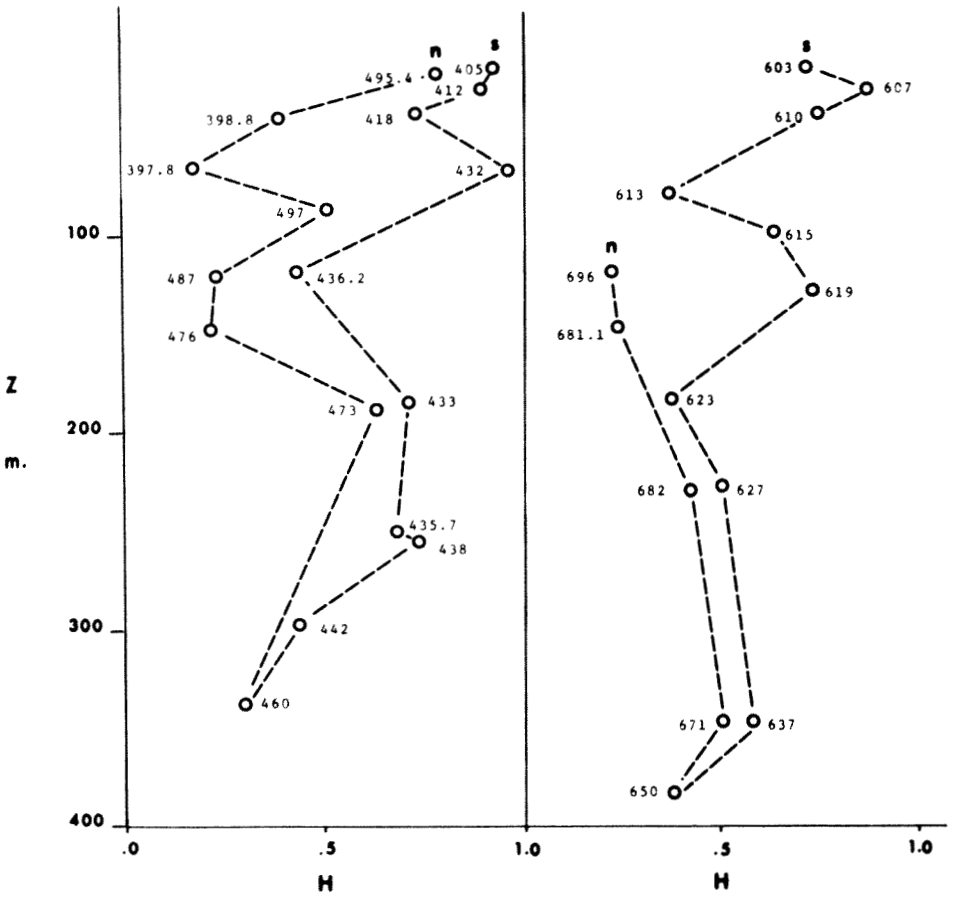


Figure 4. Depth versus diversity on transects 400 and 600. Transects 400 and 600 illustrate a typical profile of the diversity values across the Estuary from the south (S) shore to the north (N) shore.

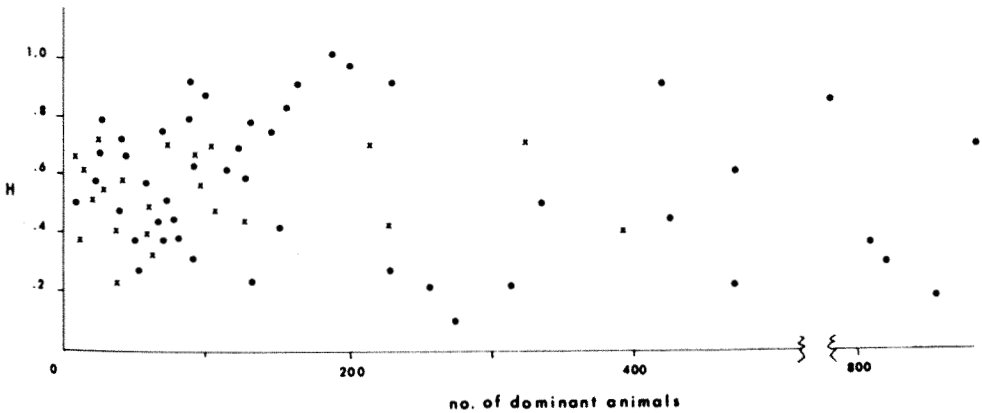


Figure 5. Diversity indices versus number of animals belonging to the dominant species of bivalve molluscs in the St. Lawrence Estuary. "•" suspension-feeder; "x" detritus-feeder.

tivores occur. When diversity is fairly high ($H > 0.75$ decits per individual), the dominant species is not exceedingly abundant (200 individuals) and is always a suspension-feeder. In 48 of the 73 stations studied (66%), the dominant species is a suspension-feeder. This mode of feeding appears to be important over a wide selection of habitats.

Suspension-feeding is usually associated with well-sorted, sandy bottoms low in organic matter. The bottom sediments of the Estuary, silty by nature, are poorly sorted; organic matter is deposited in amounts sufficient to allow detritus-feeders to thrive; yet, suspension-feeders are an important component of the fauna. It appears that broad ecological tolerances allow a few species, the suspension-feeder *Thyasira gouldi* in particular, to establish dominance over a considerable depth range. This is examined at length in Robert (1974).

Discussion

In distributional studies covering shelf and upper slope depths, transect lines are a popular sampling approach to look for depth gradients in faunal change. Even though sampling and processing techniques vary greatly among workers, a few general ideas may be discerned. Bathymetric divisions and the nature of the sediment are considered important factors in connection with animal distribution. Parker (1963) defined a near shore shelf (less than 20 m), an outer shelf (less than 120 m), a slope section, etc. in an extensive survey of the California coast. Carey (1965), off the Oregon coast, established zones of faunal change at 25 m and 175-200 m depths and related them to changes in the composition of the sediment. Data was not submitted to similarity analysis in these studies.

Numerical treatment may add objectivity to the results obtained, but these are essentially the same as by intuitive means. Sanders and Hessler (1969) found a transition of faunal change at the shelf-slope break (100 m) by the trellis diagram technique. Changes were quite pronounced for many groups of animals, including polychaetes, bivalves, and gastropods. They claim that the faunal break is related to temperature. By recurrent groups and factor analyses, Lie and Kelley (1970) recognised groups of stations by distinct sediment types or depth distributions in bands parallel to the coast. These groups made up a shallow

water sand community (19-83 m) and a deep water mud community ($Z > 100$ m). Day, Field, and Montgomery (1971), working on the North Carolina coast, obtained results similar to mine since their transect was similar in depth range and their analytical methods were also similar. They arrived at depth divisions of 20 and 100 m as in the shallow part of the St. Lawrence Estuary. Field (1971), working in False Bay, South Africa, also reports a 20 m depth division line. He postulates that depth zones may be applicable in all oceans, provided there is some allowance for regional variations. The results from the Estuary give support to this theory. In shallow water, a region which always imposes stress, there is a general pattern of a 20 m division line above which water movements are most pronounced and of a boundary at about 100 m where there is a strong temperature gradient and change in sediment characteristics. However, the deeper stations of the Estuary are affected in some ways by regionalism. Topography governs circulation patterns and upwelling at one end, thus indirectly affecting faunal distribution through temperature of the bottom water, mixing and turbulence. An investigation in Moreton Bay, Australia, by Stephenson, Williams, and Lance (1970) arrives at similar conclusions about the importance of small scale local conditions. Even though their confined sampling area was limited to 36 m in depth, the distribution of animals could be related to topographical patterns, hydrography, and bottom conditions. The authors noted that even human activity was detectable (eg. trawling changes composition of the benthos).

In the St. Lawrence Estuary, the diversity patterns do not follow expectations. It would be expected that in stressful environments (shallow water, for example), control by physical factors will decrease faunal diversity, while in stable environments (like deep water), communities are more biologically accommodated and thus diversity will be higher (Sanders, 1969). In contrast, my results show that in the St. Lawrence Estuary, diversity is high in shallow water and decreases with depth. No direct evidence exists to explain the reasons for such species diversity results in the Estuary. An attempt is made below to examine some of the possible causal agents. An insufficient knowledge of all possible factors limits the speculations. One must also consider that diversity results from molluscan data are not

necessarily representative of the benthic fauna as a whole.

Very low diversity values and the poorest fauna of the whole Estuary are encountered around the Manicouagan peninsula on the north shore of the Estuary at mid-depths. Upwelling, one element from an array of unfavorable environmental factors, could be responsible for the paucity of the fauna by the upsetting of environmental conditions at certain times. Neu (1970) reports evidence of upwelling in the area, at least in winter time. Greisman and Ingram (1977) also suggest the possibility of upwelling near these important north shore rivers. Whether upwelling is intermittent or a seasonal phenomenon, the changes created in the water column are important enough to affect the benthos.

On the north shore, sediments are much sandier than at stations of comparable depths on the south shore. This type of bottom should be favorable to high diversity. However, these sediments are under the influence of a particular current regime (inflow of deep water, tidal currents) which may limit or inhibit the stability of the superficial sediment layer and transform them into unsuitable substrates.

In contrast with the paucity of the fauna in the Manicouagan area, the shallow upstream portion of the Estuary and the first bottom basin at the upper end of the trough close to the Saguenay, maintain a high number of species and individuals. A wide availability of microhabitats compensates for the stress imposed upon the animals by the drastic fluctuations of physical factors in shallow water (Sanders, 1968; 1969). The low evenness estimates show the severity of the shallow water estuarine environment. Thus, the high diversity values appear to result from summing several low within-habitat diversities.

The first trough basin, immediately below an upwelling and intensely turbulent zone at the upper end of the Estuary, offers evidence which implies different controlling factors to that on the benthic fauna from other areas of upwelling and high productivity. In upwelling areas off the Peruvian and Chilean coasts (Rowe, 1971; Frankenberg and Menzies, 1968) and off South West Africa (Sanders, 1969), the diversity of animals is directly related to the amount of oxygen present. Both the diversity and the amount of oxygen are at first very low; they gradually increase

going away from the disturbed zone. In the St. Lawrence Estuary, oxygen values may be uniformly low (2-3 ml O₂/l; Dugal, 1934), and organic matter high (5%) through the entire trough; and H in the trough does not increase downstream. After starting in the high range in the Saguenay area, it levels off at slightly lower values farther seaward.

Some models have related productivity and diversity in different environments. A model developed by Connell and Orias (1964) stipulates that productivity determines the abundance and the diversity of organisms in a community. An ensured flow of energy should increase the stability of the community, the maximum stability arising for n species when there are n trophic levels with one species in each (MacArthur, 1955). But such models describe natural processes well, given an unvarying, deterministic environment and the high productivity they assume would, in fact, contribute to the predictability of the environment. This may not occur in real environments which are uncertain and stochastic. In the deterministic environment, populations fluctuate around a stable equilibrium point; in stochastic environments, the analogue of the equilibrium population is a probability distribution function. In this case, the degree of stability would depend on the balance between the countervailing forces of stabilising population interactions and randomizing environmental fluctuations (May, 1972).

According to Therriault and Lacroix (1976) and Steven (1974), unpredictability is the most obvious characteristic of the production of organics in the turbulent zone near the Saguenay, very high and low values being recorded at short intervals of time and apparently randomly. The instability of the hydrographic conditions inhibits the development of a sustained high level of production. Newly upwelled water is rich in nutrients and poor in plankton. It takes a little while for the phytoplankton to utilise nutrients in growth. Upwelling also tends to be a local and patchy phenomenon. So naturally in such areas, there is a large sampling variation which depends a great deal on the stage of development of the phytoplankton in upwelled water. However, the overall productivity of the area is high; and tidal currents are such that the bottom fauna must be able to get a good meal at frequent intervals. Productivity may have some role in establishing high diversity patterns and short term stability; but this ap-

plies only if accompanied by some sort of niche diversification; that is, the coexistence on a small geographic scale of several feeding types specialised in different ways to the irregular availability of food. It may be that in the turbulent zone the stability of the community depends more on a great deal of temporal and spatial heterogeneity of habitats than on high productivity, as in some arctic and desert regions (Terboght, 1973).

Acknowledgements

My thanks extend to Dr. Eric L. Mills, Department of Oceanography, Dalhousie University, who offered valuable advice throughout this project and to Dr. John G. Field, University of Cape Town, South Africa, who provided suggestions for mathematical analyses. Support was provided in part by the Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ), which received financial assistance from the National Research Council of Canada, the Department of Education of Québec, and the Donner Canadian Foundation.

References

- BELL, R., Jr., 1859. On the natural history of the Gulf of St. Lawrence, and the distribution of the Mollusca of Eastern Canada. — *Can. Nat.*, 4: 197-220.
- BELLAN, G., 1962. Note préliminaire sur la microfaune annélide de quelques peuplements marins de la baie de Marseilles. — *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, 39: 5-22.
- BRAY, J. R. and J. T. CURTIS, 1957. An ordination of the upland forest community of S. Wisconsin. — *Ecol. Monogr.*, 27: 325-349.
- CAREY, A. G., Jr., 1965. Preliminary study on animal-sediment relationship off the central Oregon coast. — *Trans. Jt. Conf. Ocean Sci. Ocean Engng.*, 1: 100-110.
- CONNELL, J. H. and E. ORIAS, 1964. The ecological regulation of species diversity. — *Am. Nat.*, 98: 399-414.
- DAWSON, J. W., 1893. *The Canadian Ice Age*. Dawson, Montreal, 301 p.
- DAY, J. H., J. G. FIELD and M. P. MONTGOMERY, 1971. The use of numerical methods to determine the distribution of the benthic fauna across the continental shelf of North Carolina. — *J. Anim. Ecol.*, 40: 93-125.
- DUGAL, L. P., 1934. Observations sur le chlore total et l'oxygène dissous de l'estuaire du Saint-Laurent. — *Naturaliste can.*, 61: 165-181.
- EL-SABH, M. I., 1977. Circulation pattern and water characteristics in the lower St. Lawrence estuary. In: T. S. Murty (Ed.), *Proc. Symposium on modeling transport mechanisms in oceans and lakes*. — *Envir. Canada Rep.*, N° 43: 243-248.
- FARQUHARSON, W. I., 1966. St. Lawrence estuary current surveys. — *Bedford Inst. Oceanogr. MS Rep.*, N° 66(6): 84 p.
- FIELD, J. G., 1971. A numerical analysis of changes in the soft-bottom fauna along a transect across False Bay, South Africa. — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 7: 215-253.
- FISHER, L. and J. W. VAN NESS, 1971. Admissible clustering procedures. — *Biometrika*, 58: 91-104.
- FOLK, R. L., 1965. *Petrology of sedimentary rocks*. — Univ. Texas, Austin, Texas, 159 p.
- FORRESTER, W. D., 1964. A quantitative temperature-salinity study of the Gulf of St. Lawrence. — *Bedford Inst. Oceanogr. MS Rep.*, N° 64(11): 16 p.
- FORRESTER, W. D., 1974. Internal tides in the St. Lawrence estuary. — *J. mar. Res.*, 32: 55-66.
- FRANKENBERG, D. and R. J. MENZIES, 1968. Some quantitative analyses of deep-sea benthos off Peru. — *Deep Sea Res.*, 15: 623-626.
- GREISMAN, P. and G. INGRAM, 1977. Nutrient distribution in the St. Lawrence estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2117-2123.
- JARDINE, N. and R. SIBSON, 1968. The construction of hierarchic and non-hierarchic classifications. — *Comput. J.*, 11: 177-184.
- KRUMBEIN, W. C. and F. J. PETTIJOHN, 1938. *Manual of sedimentary petrography*. — Appleton-Century-Crofts Inc., New York, 549 p.
- LANCE, G. N. and W. T. WILLIAMS, 1967. A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. — *Comput. J.*, 9: 373-380.
- LIE, U. and J. C. KELLEY, 1970. Benthic infauna communities off the coast of Washington and in Puget Sound: Identification and distribution of the communities. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 27: 621-651.
- LIE, U. and M. M. PAMATMAT, 1965. Digging characteristics and sampling efficiency of the 0.1 m² Van Veen grab. — *Limnol. Oceanogr.*, 10: 379-384.
- LORING, D. H. and D. J. G. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. — *Fish. Res. Bd Can. Bull.*, No. 182, 147 p.
- MAC ARTHUR, R. H., 1955. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. — *Ecology*, 36: 533-536.
- MAC ARTHUR, R. H., 1972. *Geographical ecology*. — Harper and Row, London, 269 p.
- MASSAD, R. et P. BRUNEL, 1979. Associations par stations, densités et diversité des polychètes du Benthos circalittoral et bathyal de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. — *Naturaliste can.*, 106 (1) 229-253.

- MAY, R. M., 1972. Stability and complexity in model ecosystems. Monographs in population biology, No 6. — Princeton Univ. Press, Princeton, 235 p.
- MORGANS, J. F. C., 1956. Notes on the analysis of shallow-water soft substrata. — *J. Anim. Ecol.*, 25: 367-387.
- NESIS, K. N., 1965. Biocoenoses and biomass of benthos of the Newfoundland-Labrador region. *VNIRO*, 57: 453-489. — *Fish. Res. Bd Can.*, Trans. Ser. No. 1375.
- NEU, J. H. A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence estuary up to 1964. — *Atlant. Oceanogr. Lab. Rep.* No. 1970-9, 31 p.
- OCKELMANN, W. K., 1958. The zoology of east Greenland. *Marine Lamellibranchiata*. — *Medd. om Gronland*, 122: 256 p.
- PARKER, R. H., 1963. Zoogeography and ecology of some macro-invertebrates, particularly molluscs, in the gulf of California and the continental slope off Mexico. — *Vidensk. Meddr dansk naturh. Foren.*, 126: 1-178.
- PIELOU, E. C., 1966. Shannon's formula as a measurement of specific diversity and its use and misuse. — *Am. Nat.*, 100: 463-465.
- PIELOU, E. C., 1969. An introduction to mathematical ecology. — Wiley-Interscience, Toronto, 286 p.
- POCKLINGTON, R., 1973. Organic carbon and nitrogen in sediments and particulate matter from the gulf of St. Lawrence. — *Bedford Inst. Oceanogr. MS Rep.* No. 73(8): 16 p.
- PREFONTAINE, G. et P. BRUNEL, 1962. Liste d'invertébrés marins recueillis dans l'estuaire du Saint-Laurent de 1929 à 1934. — *Naturaliste can.*, 89: 237-263.
- REISH, D. J., 1959. A discussion on the importance of screen size in washing of quantitative marine bottom samples. — *Ecology*, 40: 307-309.
- RISI, J., 1936. III. Rapport général des stations pour les étés 1934-1935. — *Station Biologique du Saint-Laurent, Rapport No. 3*: 63-91.
- ROBERT, G., 1974. The sublittoral Mollusca of the St. Lawrence Estuary, east coast of Canada. — Ph.D. thesis, Dalhousie Univ., 174 p.
- ROWE, G. T., 1971. Benthic biomass and surface productivity, p. 441-454. *In*: J. D. Costlow, Jr. (Ed.), *Fertility of the Sea Symposium*. Sao Paulo, Brazil, 1969, vol. 2: 309-622.
- SANDERS, H. L., 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. — *Am. Nat.*, 102: 243-282.
- SANDERS, H. L., 1969. Benthic marine diversity and the stability-time hypothesis. — *Brookhaven Symp. Biol.*, 22: 71-81.
- SANDERS, H. L. and R. R. HESSLER, 1969. Ecology of the deep-sea benthos. — *Science*, 163: 1419-1424.
- SHEPARD, F. P., 1931. Glacial troughs of the continental shelves. — *J. Geol.*, 39: 345-360.
- SIEGEL, S., 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. — McGraw-Hill, Toronto, 312 p.
- STEPHENSON, W., W. T. WILLIAMS and G. N. LANCE, 1970. The macrobenthos of Moreton Bay. — *Ecol. Monogr.*, 40: 459-494.
- STEPHENSON, W., W. T. WILLIAMS and S. D. COOK, 1972. Computer analyses of Petersen's original data on bottom communities. — *Ecol. Monogr.*, 42: 387-415.
- STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — *McGill Univ. Mar. Sci. Centre MS Rep.* No. 26, 116 p.
- TERBOGH, J., 1973. On the notion of favorableness in plant ecology. — *Am. Nat.*, 107: 481-501.
- THERRIAULT, J.-C. and G. LACROIX, 1976. Nutrients, chlorophyll, and internal tides in the St. Lawrence estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 2747-2757.
- THORSON, G., 1944. The zoology of east Greenland. *Marine Gastropoda Prosobranchia*. — *Medd. om Gronland*, 121: 1-181.
- THORSON, G., 1951. The Godthaab Expedition. Scaphopoda, Placophora, Solenogastres, Gastropoda Prosobranchia, Lamellibranchia. — *Medd. om Gronland*, 81, 117 p.
- WAKSMAN, S. A., 1933. On the distribution of organic matter in the sea bottom and the chemical nature and origin of marine humus. — *Soil Sci.*, 36: 125.
- WHITEAVES, J. F., 1875. On recent deep-sea dredging operations in the gulf of St. Lawrence. — *Can. Nat. Quart. J. Sci.*, new series, 7: 86-100, 257-267.
- WHITEAVES, J. F., 1901. Catalogue of the marine invertebrates of Eastern Canada. — *Geol. Surv. Canada, Publ. No 772*, 271 p.
- WILLIAMS, W. T. and W. STEPHENSON, 1973. The analysis of three-dimensional data (sites "species" times) in marine ecology. — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 11: 207-227.
- WISHART, D., 1969. An algorithm for hierarchical classifications. — *Biometrics*, 25: 165-170.

ASSOCIATIONS PAR STATIONS, DENSITÉS ET DIVERSITÉ DES POLYCHÈTES DU BENTHOS CIRCALITTORAL ET BATHYAL DE L'ESTUAIRE MARITIME DU SAINT-LAURENT¹

Rafat MASSAD et Pierre BRUNEL

Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal.

Résumé

On a étudié 45 échantillons de drague ancreuse *Spatangue* (3 113 litres de sédiments sur 51,9 m² de fond), prélevés du 2 juin au 4 octobre 1970-71 à 15-383 m de profondeur (68% à > 181 m) entre le Saguenay et la pointe des Monts. Un diagramme en treillis de coefficients de similitude de Steinhaus entre 37 stations valides, avec 109 espèces, et une ordination par coordonnées principales font distinguer 6 associations: (A) un groupe lâche eurybathe (37-282 m) des sables et graviers (76-99%) de la zone d'affleurement (Saguenay — île du Bic), et des groupes plus homogènes (B) des sables (20-76%) des nappes de surface (0-40 m) et glaciale (40-80 m) en aval de l'île du Bic, (D) des sables (57-76%) profonds (183-282 m) des talus, (E) des vases sableuses (32-40% sable) profondes (220-357 m) de la zone d'affleurement et du bas du talus nord, (F) des vases (3-11% sable) profondes (183-293 m) du bas du talus sud d'aval, et (G) des vases (6-20% sable) très profondes (293-383 m) du fond du chenal laurentien en aval de Rimouski; une station isolée du plateau nord (80-150 m) vaseux (6-31% sable) appartient à une 7^e association (C), et 6 stations (écotones?) sont marginales aux groupes. Un gradient bathymétrique combinant la granulométrie des sédiments, la stratification en 4 nappes d'eau et les discontinuités topographiques marquées explique ces groupements à 47%. Sur fonds sablonneux, les densités (485-4 016/m²) et la proportion de sestonophages et de détritivores sélectifs sont plus élevées que sur fonds vaseux (dens. 122-744/m² à 22/28 sta.), où l'importance des Errantes et des détritivores non sélectifs est supérieure. La diversité spécifique, estimée selon 4 indices, diminue avec la profondeur et l'augmentation de vase, mais semble passer sur sable vaseux par un maximum distinct pour chaque association. La pauvreté, croissante du Saguenay vers l'aval, en individus et en espèces des fonds de vase expliquent ces tendances générales, mais la rareté de nourriture en profondeur dans le Chenal expliquerait la densité plus faible du groupe G que du groupe F. L'ensablement à toutes profondeurs et l'instabilité thermique et sédimentaire de la zone d'affleurement, sources d'habitats en mosaïque, expliquent ses fortes densités et ses diversités très variables. Le remplacement de l'association G par d'autres dans les mêmes habitats en amont de Rimouski dépend peut-être d'un régime sestonique distinct dans un courant oblique de surface traversant l'Estuaire dans ce secteur.

Abstract

We have studied 45 anchor-dredge ("*Spatangue*" type) samples (3 113 litres of sediments on 51,9 m² of bottom), taken from 2 June to 4 Oct. 1970-71 at depths of 15-383 m (68% at > 181 m) between the Saguenay Fjord and pointe des Monts. A treillis diagram of Steinhaus similarity coefficients between 37 valid stations, with 109 species, and a principal coordinate ordination allow separation of 6 associations: (A) a loose eurybathic (37-282 m) group on sand-gravel (76-99%) of the upwelling zone (Saguenay to Bic Island), and more homogeneous groups (B) on sands (20-76%) in the surface (0-40 m) and cold (40-80 m) layers downstream from Bic Island, (D) on deep (183-282 m) sands (57-76%) of slopes, (E) on deep (220-357 m) sandy muds (32-40% sand) of the upwelling zone and base of the north slope, (F) of deep

¹ Contribution au programme du GIROQ (Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec).

(183-293 m) muds (3-11% sand) at the base of the south slope downstream, and (G) on deepest (293-383 m) muds (6-20% sand) of the Laurentian Channel bed downstream from Rimouski: an isolated station of the muddy (6-31% sand) north shelf (80-150 m) belongs to a 7th association (C), and 6 stations (ecotones?) are marginal to other groups. A depth gradient combining sediment grain sizes, four-layer water stratification and marked topographic discontinuities account for 47% of these groupings. On sandy grounds, densities ($485-4\ 016/m^2$) and proportions of filter-feeders and selective deposit feeders are higher than on mud (dens. $122-744/m^2$ in 22/28 samples), where the importance of Errantia and non selective deposit feeders is greater. Species diversity, estimated with 4 indices, decreases with depth and mud increase, but shows on muddy sands a maximum apparently distinctive of each association. Poverty of individuals and species, increasing downstream from the upwelling zone, on muddy grounds explain these trends in general, but food scarcity deep in the Channel may explain the lower average density in group G than in F. Sand enrichment at all depths and temperature and sediment instability in the upwelling zone, all sources of mosaic habitats, explain its high densities and very variable diversities. Replacement of group G by others in similar habitats upstream from Rimouski may depend on a distinct sestonic regime in an oblique surface current crossing the Estuary in this area.

Introduction

Les Annélides Polychètes sont fréquemment le groupe taxonomique dominant dans la macrofaune endobenthique marine: elles peuvent former avec les Mollusques près de 80% de cette faune (Sanders, 1968), contribuent par leurs tubes minéraux à la stabilité et à l'hétérogénéité du sédiment et par leur fouissage à son oxygénation (Rhoads, 1974), et contiennent deux fois plus de carbone organique que les Mollusques, par unité de poids (O'Connor, 1972).

Dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, nos connaissances sur les Polychètes se résumaient jusqu'à récemment à quelques listes faunistiques (Kindle et Whitaker, 1918; Préfontaine et Brunel, 1962; Brunel, 1970b, et références citées) ou études locales de distribution (Brunel, 1970c; Peer, 1963). Massad (1975) et Bellan (1977) ont complété les seuls travaux fondés sur des matériaux abondants et semi-quantitatifs. On connaît maintenant environ 240 espèces de Polychètes dans le Golfe et l'Estuaire.

Nous nous proposons ici de chercher dans la distribution semi-quantitative des Polychètes endobenthiques les variables synécologiques les plus générales, propres à révéler des propriétés importantes des communautés de fond et même de l'écosystème de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Nous voulions notamment tenter de dissocier les facteurs écologiques généraux pour le benthos (granulométrie des sédiments, profondeur en tant que distance des sources pélagiques de nourriture, et stratification thermique) des facteurs océano-

graphiques particuliers à l'Estuaire, notamment les affleurements d'eaux profondes proches de l'embouchure du Saguenay et la distribution locale du seston. On trouvera ailleurs (Massad, 1975; Massad et Brunel, en prép.) notre analyse de la distribution bathymétrique de toutes les espèces et des associations d'espèces d'un point de vue plus autécologique et biogéographique, second objectif plus exploratoire de nos prélevements. Le présent travail fait partie d'un relevé des communautés endo-, épi- et suprabenthiques de l'estuaire maritime du Saint-Laurent réalisé par le GIROQ, sous la direction du second auteur, de 1970 à 1972. Robert (1974, 1979), dans un travail parallèle au nôtre, a étudié les 132 espèces de Mollusques recueillies aux 83 stations visitées, alors que nous n'avons pu traiter que 45 des échantillons prélevés.

Le milieu physique

L'estuaire maritime du Saint-Laurent (fig. 1), délimité en amont par le confluent du fjord du Saguenay et en aval par la pointe des Monts (Brunel, 1970a), est en réalité une extension vers le sud-ouest du nord du golfe du Saint-Laurent, dont il partage (fig. 2) les profondeurs bathyales (jusqu'à 385 mètres) et la stratification en trois masses d'eau (Tremblay et Lauzier, 1940; Lauzier et Trites, 1958; Trites, 1972; données inédites du GIROQ). La nappe de surface, dont la température et la salinité en aval de l'île du Bic varient de 7 à 20°C et de 25 à 31‰, occupe en moyenne les profondeurs de 0 à 40 mètres, incluant la faible thermocline (Massad, 1975). La nappe glaciaire, située vers 40-80

m de profondeur, est la plus froide ($-0,5$ à $+1^{\circ}\text{C}$) et de salinité plus élevée (32-33‰) pendant l'été. La température et la salinité augmentent graduellement en profondeur jusqu'à 4°C et 34‰ dans la nappe profonde, définissant ainsi une nappe de transition à frontières floues ($1-4^{\circ}\text{C}$ et 33-34‰), la limite supérieure à 1°C étant moins profonde pendant les années chaudes que pendant les années froides (Lauzier et Trites, 1958; Brunel *et al.*, en prép.). La nappe profonde est « tiède » ($3-5^{\circ}\text{C}$) et la plus salée (34-35‰), et issue de l'eau des pentes formée hors du Golfe et y pénétrant par le détroit de Cabot (Lauzier et Trites, 1958).

La topographie de l'Estuaire (fig. 1 et 2) est dominée par le chenal laurentien qui délimite, en coupe transversale (fig. 2) un talus nord plus abrupt que le talus sud, ces talus formant les discontinuités physiques les plus marquées dans l'Estuaire. Du côté nord, la nappe de transition se trouve ainsi à recouvrir un plateau nord profond (100-150 m), limité aux deux tiers inférieurs de l'Estuaire maritime (fig. 2) et nettement séparé du talus nord par une forte rupture de pente. Au bas de ce dernier, la rupture de pente est aussi très forte et coïncide à peu près avec la limite supérieure de la nappe profonde, vers 300 mètres de profondeur. Le plateau sud est moins profond, moins nettement séparé du talus sud par une zone de fonds accidentés, et s'élargit vers l'amont (fig. 2). Le chenal laurentien se termine abruptement en amont par une très forte rupture de pente en face de Grandes-Bergeronnes.

Les propriétés estuariennes de l'Estuaire maritime lui viennent de sa forme allongée, dans le prolongement de l'Estuaire moyen — le véritable estuaire de l'île d'Orléans au Saguenay —, et de l'importance nécessaire des composantes longitudinales de ses courants résiduels et de marée. Sa circulation estuarienne est dominée par une zone d'affleurement et de mélange à l'extrémité amont de l'Estuaire maritime, connue depuis Gaudry (1938) et objet d'études plus précises subséquentes (Hachey, Lauzier et Bailey, 1956; Forrester, 1974; Ingram, 1975; Theriault et Lacroix, 1976). Deux fois par cycle de marée, les eaux froides de la nappe glaciaire affleurent dans la nappe de surface où elles détruisent la stratification et se mélangent avec les eaux sortant du Saguenay et du côté sud de l'Estuaire moyen pour créer ce que Gaudry (1938) appelle le « courant du Saguenay », en direction est jusqu'à

l'île du Bic (fig. 1). De là, un courant oblique traverserait l'Estuaire vers la côte nord (El-Sabh, 1979). On en ignore toutefois encore la régularité ou l'importance (Ingram, comm. pers.).

L'instabilité des températures et salinités est donc la plus fréquente — journalière — dans la zone d'affleurement (Ingram, 1975), au moins aux profondeurs de la nappe de surface (de l'ordre de 4 à 8°C) et de la nappe glaciaire (de l'ordre de 2 à 5°C); elle peut y atteindre 2°C dans la nappe de transition; on connaît mal les écarts saisonniers dans cette zone. Vient ensuite l'instabilité de la nappe de surface en aval de l'île du Bic, où la température montre des variations saisonnières superficielles de $-1,0^{\circ}\text{C}$ en hiver (Ingram, 1979) à $6-9^{\circ}\text{C}$ en été (Brunel *et al.*, en prép.), ou journalières de 1 à 4°C au niveau de la thermocline soumise à des ondes de marées internes générées dans la zone d'affleurement (Forrester, 1974). La nappe glaciaire est moins instable, sa température d'environ $2-3^{\circ}\text{C}$ en hiver diminuant rapidement par advection du Golfe jusqu'à son minimum d'environ $-0,5^{\circ}\text{C}$ en juin (Ingram, 1979; Brunel *et al.*, en prép.). Les nappes de transition et profonde, soustraites aux influences saisonnières de surface, sont les plus stables: du 25 avril au 1 octobre 1971, la température à 200 m variait de $3,1$ à un maximum de $4,4^{\circ}\text{C}$ à la mi-juillet, d'après 29 observations (Massad, 1975), et la différence entre l'hiver (4 à $4,5^{\circ}\text{C}$ de 200 à 340 m selon Lauzier, 1958) et l'été est négligeable.

Les sédiments dans l'Estuaire maritime sont généralement très fins au fond du chenal laurentien, la proportion de sable augmentant graduellement sur les talus et les plateaux, selon Loring et Nota (1973) et Kranck (1979). Ces auteurs ont aussi observé que les sédiments du Chenal sous la zone d'affleurement contiennent plus de sable qu'en aval, et Pocklington et Leonard (1978) y ont trouvé en plus des quantités appréciables de lignine dérivée des débris de bois rejetés par les usines de pâtes et papier situées en amont du Saguenay.

Matériel et méthodes

On a réparti en six profils transversaux et un profil axial à l'Estuaire 82 stations (fig. 1) de prélèvements semi-quantitatifs à l'aide d'une drague ancreuse « Spatangue » (Bellan, 1962), illustrée ici (fig. 3) et par Jacquotte (1962) et Massad (1975); ce dernier

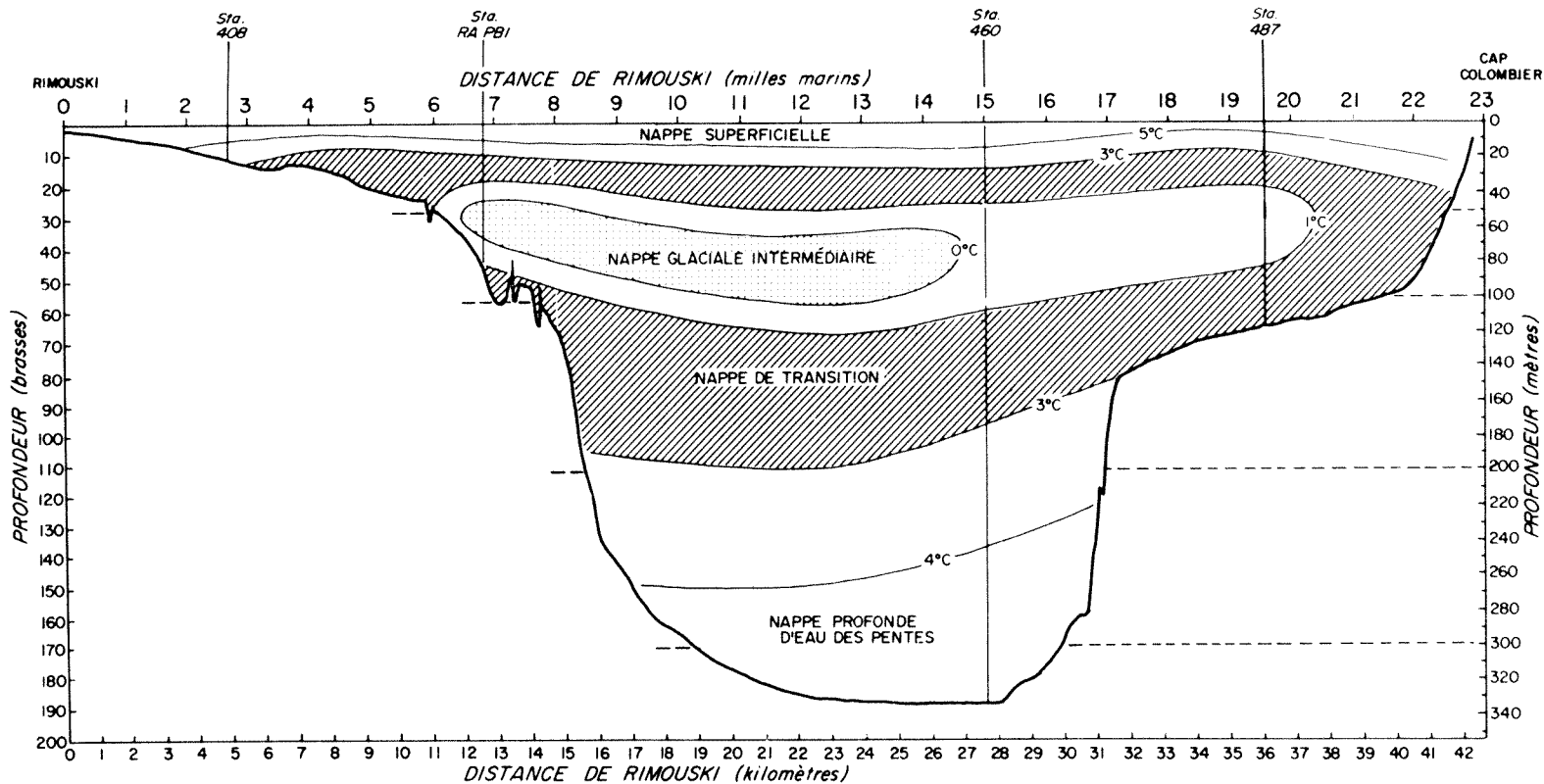


Figure 2. Profil bathymétrique transversal de l'estuaire maritime du Saint-Laurent en face de Rimouski, montrant le chenal laurentien et la stratification thermique définissant les trois nappes d'eau, schématisée d'après les données du GIROQ à quatre stations en 1970-71 et les profils transversaux de Gaudry (1938) et Tremblay et Lauzier (1940).

en décrit la construction et le fonctionnement. En bref, on calcule la surface échantillonnée en divisant le volume de vase, recueilli *in toto* dans la poche interne de jute, par la hauteur (6 cm) de l'une des deux ouvertures de sape qui sont symétriques et identiques. Comme l'ont décrit et vérifié Sanders *et al.* (1965) pour une drague analogue, on suppose que la surface portante antérieure à cette ouverture empêche la profondeur de sape de dépasser 6 cm, et que le poids de la drague (105 kg) lui permet d'atteindre 6 cm. Cette dernière supposition est plutôt improbable sur les fonds trop durs (Holme et McIntyre, 1971), que nous avons donc prospectés moins intensément (tableau II plus bas). Des comparaisons (Huberdeau et Brunel, en prép.) entre l'échantillonneur endobenthique de Holme (Brunel, 1970c; Holme et McIntyre, 1971) et la drague Spatangue indiquent que celle-ci, sur fonds à 69% de sable, surestime la densité des Ascidies et des Amphipodes par un facteur de 1,6-3,2, et des Pélécy-podes par un facteur de 1,1-1,5. D'autre part, sur vases

plus molles, les dragues ancreuses semblent sous-estimer davantage (facteur 5) la densité des Crustacés vagiles (Dickinson et Carey, 1975; Gage, 1975) et des Pélécy-podes (Dickinson et Carey, 1975) que celle des Polychètes (Gage, 1975), qui était environ deux fois plus faible que dans l'appareil de Holme à la station 487 (Huberdeau et Brunel, en prép.). Nous avons malgré cela choisi la drague Spatangue, qui a contribué aux résultats de Bellan (1977) pour les eaux gaspésiennes, et compte tenu de l'objectif exploratoire de notre travail, parce que la drague pouvait procurer en moins de temps que les bennes des volumes importants de sédiments, dans les forts courants de l'Estuaire.

Après le prélèvement d'un sous-échantillon de sédiments pour l'analyse granulométrique, tout volume de sédiment inférieur à 60 litres (17 échantillons) ou une aliquote de 60-150 litres (30 échantillons) tirée au hasard de tout volume supérieur rapporté par la drague, était désagrégé et tamisé à bord sur trois tamis à mailles de 10, 1 et 0,42 mm à l'aide d'un pistolet pulvérisateur d'eau de mer sous pression contrôlée à la gachette (Brunel, 1970c). Seulement quatre échantillons avaient un volume faible inférieur à 30 litres (tableau I). Les Polychètes étudiées ici, provenant exclusivement des tamis de 10 et 1 mm, ont été fixées dans le formaldéhyde à 4% dans l'eau de mer, et transférées après 3 jours dans l'alcool éthylique à 70% additionné de glycérine à 4%. L'identification s'est faite en grande partie à l'aide d'Ushakov (1955), Pettibone (1963), Fauvel (1923, 1927), Arwidsson (1907) et Day (1964). Nous n'avons pu mener à terme les déterminations de quatre familles d'Errantes (Polynoidae, Phyllodocidae, Nephtyidae, et Dorvilleidae) et d'une de Sédentaires (Flabelligeridae), comprenant probablement au plus une vingtaine d'espèces, mais nous avons dénombré les individus. Aucune de ces familles ne compte pour plus de 5% des individus par échantillon, sauf aux stations 398.8 (22%) et 589.2 (13%). Les associations et diversités sont donc établies sans ces familles, alors que les densités totales et par mode alimentaire les incluent.

À cause du temps considérable d'extraction des vers de leur tube, de la fragilité, de l'abondance et des difficultés d'identification des Polychètes, nous avons dû restreindre notre étude aux échantillons de 45 stations, qui contenaient quelque 39 000 individus. On trouvera au tableau I les princ-

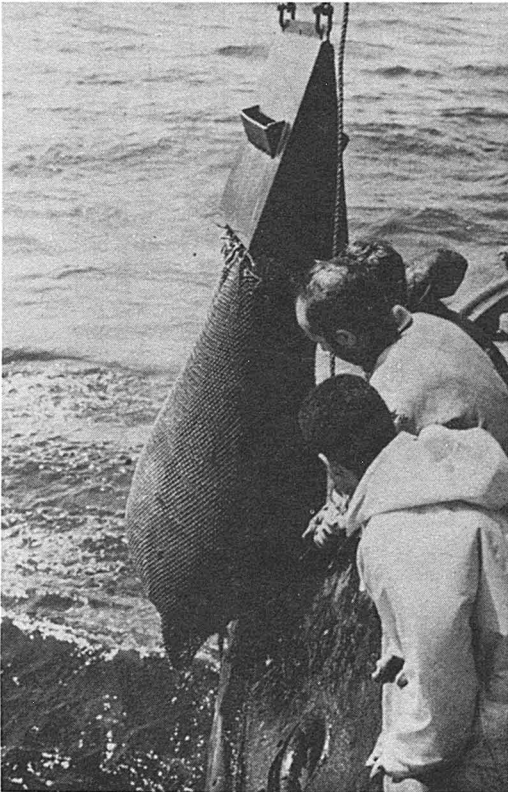


Figure 3. La drague ancreuse «Spatangue»

TABLEAU I
Caractéristiques des sédiments des
45 échantillons étudiés

Stn n°	Prof. (m)	Sédiment						10 ϕ
		Vol. tamisé (litr.)	% en poids					
			G	S	L	A		
92	220	90	0	32	59	9	46	
92.2	311	90	2	29	58	11	50	
92.7	357	40	0	20	69	10	52	
94.1	274	90	0	10	83	6	64	
*95.3	183	35	1	88	9	3	22	
130	37	5	75	24	1	0	-2	
163	115	30	0	93	4	2	15	
167	165	50	2	78	18	3	28	
170	252	30	7	81	11	2	21	
247	282	60	3	73	20	4	19	
*270	302	90	0	7	84	9	61	
370	274	130	0	1	87	10	73	
398.8	40	150	1	65	29	5	34	
435.7	252	70	0	3	87	9	65	
438	252	90	0	11	78	12	54	
442	293	20	0	6	79	15	57	
460	334	90	0	2	88	8	65	
473	183	55	1	37	55	6	54	
487	119	90	0	14	74	12	57	
*497	86	105	1	17	71	11	61	
504	15	60	2	76	15	7	26	
514	37	60	1	37	48	13	48	
518	73	60	0	25	61	13	48	
*523	146	50	1	6	84	10	56	
525	183	95	0	4	84	11	61	
527	220	60	5	61	25	6	17	
531	256	90	0	3	85	13	56	
533	293	90	0	9	79	14	54	
569	365	18	0	10	76	14	58	
570	365	30	0	10	76	14	58	
589.2	238	75	0	40	51	9	51	
610	37	60	1	57	33	10	34	
613	73	60	0	20	60	20	59	
623	183	85	0	11	71	19	64	
627	229	90	0	9	76	14	59	
637	348	30	0	9	75	16	59	
650	383	120	0	7	82	11	56	
*671	348	75	0	8	79	14	59	
*681.1	146	35	0	31	57	10	53	
*682	183	50	0	32	58	10	50	
*696	119	50	0	27	63	8	51	
750	293	90	0	20	67	13	57	
770.5	183	20	0	57	33	10	30	
844	311	75	1	14	75	12	57	
950	329	95	0	6	85	9	57	

G: gravier (>2 mm); S: sable (62 μ m-2 mm);

L: « limon » (4-62 μ m); A: argile (<4 μ m)

ϕ = -log₂ diam. moyen des grains (mm)

* Echantillon invalide (cf. tableau III)

pales caractéristiques de collection de ces 45 échantillons, prélevés du 11 juin au 18 septembre 1970 et du 2 juin au 4 octobre 1971. Massad (1975) fournit les date et position de chaque prélèvement. On a dû rejeter, pour les calculs, huit échantillons (tableau I) dont trop de spécimens étaient détériorés, soit par la mauvaise pénétration du fixatif dans les tubes, soit par leur fragilité au jet d'eau du tamisage. Quatre des cinq échantillons du plateau nord, provenant d'une même association (Robert, 1979), sont ainsi avariés (fig. 7).

Les analyses granulométriques ont été faites par Robert (1979), avec une pipette Andreasen à sédimentation selon les méthodes de Morgans (1956) pour la fraction grossière, et Krumbein et Pettijohn (1938) pour la fraction fine; les argiles ont été défloculées par ultrasons à 20 kHz. Cette dispersion n'est cependant pas toujours complète, comme le révèlent des analyses d'échantillons-témoins de la station 487 défloculés par moyens chimiques (D'Anglejan, comm. pers.): on a obtenu alors des fractions d'argile de près de 40% pour des échantillons qui n'en révélaient que quelque 15% après défloculation à l'ultra-son. Le « limon » auquel nous référons dans notre travail se situe donc entre le limon écologique de Morgans (1956) et le limon-argile de Sanders (1958), et consiste en particules agrégées ou non de diamètre moyen de 2 à 64 μ m. Le pourcentage de « limon » étant inversement proportionnel au pourcentage de sable pour toutes les stations (sauf 130 et 603, très riches en gravier), nous avons utilisé l'une ou l'autre variable comme indicateur du facteur écologique de la texture granulométrique du sédiment. Ces paramètres équivalent au rapport sable: vase qui, comme le note Nicholls (1970), n'influence la faune significativement que lorsque les gradients écologiques et bathymétriques sont prononcés, comme dans le présent travail.

La délimitation des associations s'est faite, dans un premier temps, en mesurant la similitude entre toutes les paires des 37 échantillons valides, comparés quant à l'abondance relative de chacune des 109 espèces qui y est présente. On a utilisé le coefficient de similitude de Steinhaus (Motyka et al., 1950; voir aussi Bray et Curtis, 1957, et Legendre et Legendre, 1979),

$$S = 2w / (\sum N_a + \sum N_b),$$

où w est la somme des plus petites abondances communes à la paire de stations a et b , et ΣN_a et ΣN_b sont respectivement l'abondance de toutes les espèces de la station a et celle de la station b .

Appliqué à des abondances transformées en $\log_{10}(x + 1)$, comme nous avons fait, cet indice, qui varie de 0 à 1, ou 0 à 100 si on l'exprime en pourcentage, a l'avantage d'exclure les absences conjointes, de tenir compte de l'abondance plutôt que de la

seule présence, et d'atténuer l'importance des espèces très dominantes pour la répartir sur plusieurs sous-dominantes. Il a l'inconvénient de ne pas se prêter à l'épreuve statistique. Il a été employé souvent, par exemple par Day *et al.* (1971) (qui l'attribuent erronément à Czekanowsky) et Nicholls (1970). Massad (1975) avait aussi préparé une matrice préliminaire d'indices de Steinhaus entre les 23 stations les plus profondes, calculés sur les abondances rela-

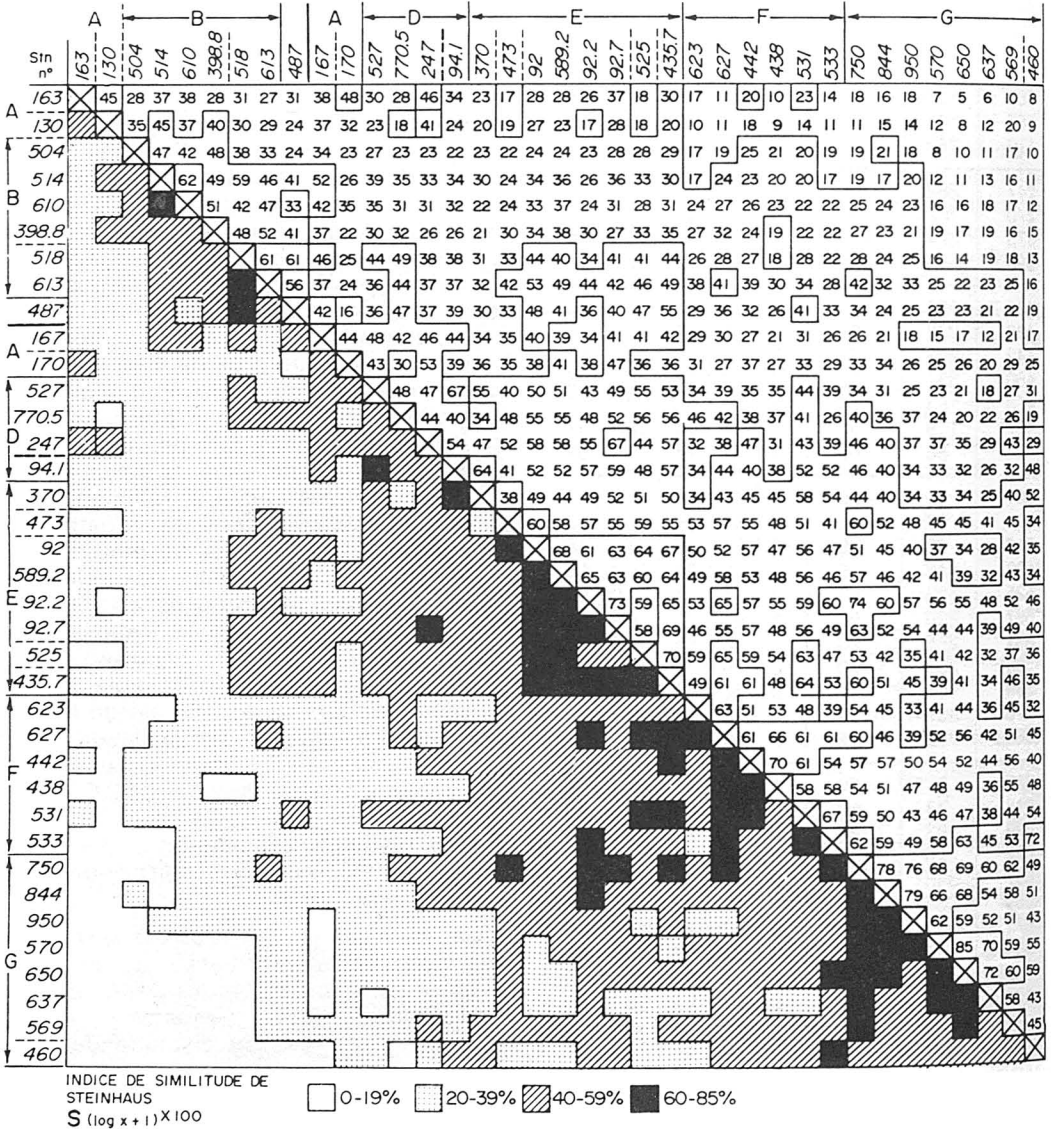


Figure 4. Matrice de similitude (coefficient de Steinhaus) entre les 37 échantillons valides, calculée sur l'abondance de 109 espèces de Polychètes, et délimitant (traits continus séparant les stations) 6 groupes (associations) A-G de stations. Les groupes B, E et G comprennent des stations marginalement associées, séparées par des traits discontinus du groupe principal.

tives (%) non transformées des espèces. Cet indice donne aux espèces dominantes un poids que nous estimons excessif, car nos échantillons, à caractère exploratoire et isolés dans le temps, ignorent les processus de succession.

La matrice des similitudes entre toutes les paires de stations est présentée sous la forme d'un diagramme en treillis (fig. 4), obtenu en permutant l'ordre des stations de façon à satisfaire autant que possible à deux critères: (a) rapprocher les stations dont les coefficients sont les plus élevés, et qui se groupent donc près de la diagonale; (b) voir à ce que les groupes ainsi formés soient associés aux autres par des blocs de coefficients du même ordre de grandeur, que ce dernier soit élevé ou faible. D'autre part, nous avons soumis la même matrice de similitude à une analyse d'ordination en coordonnées principales, selon la méthode de Gower (1966), et de groupement à lien simple (Legendre et Rogers, 1972), méthodes qui sont décrites par Legendre et Legendre (1979).

Résultats

FACTEURS PHYSIQUES

Les données sur la granulométrie des sédiments et la profondeur à chacune des 45 stations étudiées sont fournies dans le tableau I, et reportées sur un diagramme de dispersion (fig. 6).

Pour délimiter la zone d'affleurement et de mélange (fig. 1), nous avons d'abord inclus l'aire située dans la rupture de pente de l'extrémité amont du chenal laurentien (stations 95.3, 92, 94.1, 92.2 et 92.7), et ajouté les stations 130-170 placées dans le trajet du courant du Saguenay, de Tadoussac à l'île du Bic. Ces stations (sauf 94.1) sont plus sablonneuses que la majorité de celles du même étage ailleurs dans l'Estuaire maritime (fig. 6). Les stations 230-247, en plus de se trouver dans l'axe du courant du Saguenay, sont elles aussi plutôt sablonneuses, spécialement 247. La frontière passant entre les stations 180 et 181.5 (fig. 1) provient de l'examen des données de Robert (1979) sur les Mollusques et ne concerne pas encore les Polychètes. À la station 370, très vaseuse, les sédiments contenaient une proportion importante de fins débris de bois.

La délimitation en quatre nappes d'eau s'est faite en tenant compte des données résumées plus haut sur la température

et la salinité, de la distribution bathymétrique de toutes les espèces de Polychètes et des associations entre elles (Massad, 1975; Massad et Brunel, en prép.), et des associations par stations des Mollusques de 73 des stations (Robert, 1979). La seule frontière physique imprécise est la limite inférieure de la nappe glaciaire, puisque sa limite supérieure se situe dans la thermocline, et que la frontière entre les nappes de transition et profonde, imprécise pour les masses d'eau, correspond dans l'Estuaire à la rupture de pente entre les talus nord et sud et le fond du chenal laurentien.

On peut donc découper l'ensemble de l'aire étudiée (tableau II et fig. 6) selon la granulométrie des sédiments, la situation de la zone d'affleurement, et les étages hydrographiques et physiographiques, et reconnaître, sur les 24 combinaisons possibles de facteurs écologiques physiques, 13 catégories présumément assez homogènes représentées par au moins un échantillon valide dans notre matériel. On notera spécialement les deux groupes distincts de stations de la zone d'affleurement, un groupe sablonneux eurybathe mais moins profond que le groupe vaseux (<50% de sable et gravier) de 4 stations. La répartition inégale des effectifs entre les catégories est également apparente: 75% des stations étudiées sont vaseuses, et 66% sont vaseuses et plus profondes que 100 mètres.

LES ASSOCIATIONS DE STATIONS

Nous avons identifié 109 espèces de Polychètes aux stations étudiées (Massad, 1975; Massad et Brunel, en prép.). Le nombre d'espèces par échantillon, selon son volume et sa diversité, varie de 17 à 65, et le nombre d'individus de 136 à 5937 (tableau III). La faune appartient à 16 familles d'Errantes et 18 de Sédentaires.

L'ordination des stations produite par le diagramme en treillis (fig. 4) et l'analyse en coordonnées principales (fig. 5) est à peu près la même: elle se fait surtout selon un gradient intégré de profondeur et de texture des sédiments. La coordonnée I qui exprime ce gradient sur la figure 5 rend compte de 47,6% des distances multidimensionnelles entre les échantillons, ce qui est très élevé. Cinq groupes, B, D, E, F et G, apparaissent sur le diagramme en treillis (fig. 4) et son reportés sur le diagramme d'ordination (fig. 5). Un sixième groupe, A, de nature différente, correspond aux 4 stations les

TABLEAU II
Répartition des échantillons valides de Polychètes étudiés
selon les principales catégories de facteurs écologiques physiques
dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent

	Prof. (m)	Vase	Vase sablonneuse	Sable et gravier
		0-19% sable et gravier 70-90% « limon » (m)	20-49% sable et gravier 40-70% « limon »	50-99% sable et gravier 0-40% « limon »
Zone d'affleurement	40-300 200-383	— 1	— 3	6 —
Nappe de surface	0-37	—	—	1
Nappe glaciaire	37-80	—	3	2
Nappe de transition	Plateau nord 80-150	1	—	—
	Talus nord 180-250	—	2	1
	Talus sud 180-300	9	—	1
Fond du chenal aval	300-385	7	1	—
Total	0-385	18	9	11

moins profondes de la zone d'affleurement (tableau II) qui s'associent entre elles autant qu'avec le groupe B, et qui devraient être représentées dans une troisième dimension de la figure 5. Ces six groupes ou associations de stations sont représentés sur un diagramme de dispersion (fig. 6) de la profondeur en fonction de la granulométrie, et sur une carte de l'Estuaire maritime (fig. 7).

La méthode des liens simples paraît moins bien adaptée à dégager des groupes dans nos données que le diagramme en treillis, ou que la méthode des groupements selon l'association moyenne (ou «group-averaging») utilisée par Robert (1979). On voit mal en effet pourquoi une similitude à 48% dans une direction, par exemple, aurait plus d'importance qu'une demi-douzaine d'indices à 40-46% dans une autre. La méthode fait cependant bien ressortir (fig. 5) la chaîne de liens qui relie cinq stations de la zone d'affleurement, chaîne qui traverse les groupes obtenus sur la figure 4.

Les groupes les mieux définis sont les groupes G et E nodal (4 stations centrales) qui occupent respectivement le fond très

vaseux du chenal laurentien en aval de Rimouski (fig. 7) et le bas un peu plus sablonneux du talus sous la zone d'affleurement et du côté nord en aval. Le groupe G apparaissait aussi le mieux défini dans la matrice préliminaire de Massad (1975). Le groupe F, moins profond mais aussi vasicole que le groupe G (fig. 6), occupe l'étage assez bien défini du talus proche du groupe G (fig. 7), avec lequel il a des affinités par la station 750, la moins profonde de ce dernier groupe. Le groupe D rassemble, à un seuil de similitude plus bas (40-67%), quatre stations très dispersées dans l'Estuaire sur des fonds nettement plus sablonneux (sauf 94.1) mais assez profonds des talus (fig. 6). Le groupe B, plus distinctif (fig. 5) mais moins homogène que les groupes profonds (fig. 4), occupe les fonds sablonneux les moins profonds des plateaux sud et nord, baignés par les nappes de surface et glaciaire.

Quatre groupes contiennent des stations qui sont liées plutôt marginalement au groupe principal de stations. Au groupe B sont rattachées les stations 518 et 613, distantes des autres notamment sur la figure 5, et qui sont les plus profondes et les

TABLEAU III

Nombre d'individus et d'espèces, diversité, espèce dominante et densité des Polychètes aux 45 stations étudiées

Stn n°	N	S	Diversité		Espèce dominante		Den- sité (N/m ²)
			H'	S/200 indiv.	% de N	Nom (cf. tableau IV)	
92	415	34	1,24	29,1	12,5	<i>Onuphis quadricuspis</i>	282,8
92.2	419	28	1,10	24,4	23,4	<i>Maldane sarsi</i>	282,8
92.7	494	33	1,17	26,0	22,7	<i>Spiophanes kroyeri</i>	744,0
94.1	3694	54	0,92	27,4	50,5	"	2497,2
*95.3	32	18	—	—	25,0	<i>Onuphis conchylega</i>	—
130	835	25	0,47	17,5	78,6	<i>Melinna elisabethae</i>	10056,0
163	691	27	0,65	16,3	60,1	<i>Spiophanes kroyeri</i>	1390,0
167	2901	49	1,16	27,8	19,4	<i>Myriochele heeri</i>	3492,0
170	674	33	0,86	24,2	38,9	<i>Potamilla neglecta</i>	1416,0
247	1273	33	0,61	20,0	69,5	<i>Glyphanostomum pallescens</i>	1285,0
*270	52	8	—	—	36,5	<i>Onuphis opalina</i>	—
370	5926	40	0,52	17,7	73,7	<i>Tharyx acutus</i>	2739,7
398.8	1236	36	0,85	24,6	43,0	<i>Melinna elisabethae</i>	636,8
435.7	1416	35	0,73	21,4	59,5	<i>Spiophanes kroyeri</i>	1214,7
438	213	18	0,98	17,7	20,7	<i>Lumbrineris sp/1</i>	142,7
442	232	24	1,06	23,0	24,1	<i>Sternaspis scutata</i>	735,0
460	1083	23	1,04	17,7	23,0	<i>Tharyx acutus</i>	723,2
473	218	27	1,13	26,3	21,1	<i>Glyphanostomum pallescens</i>	242,3
487	1077	39	1,01	26,4	27,1	<i>Spiophanes kroyeri</i>	732,0
*497	147	11	—	—	57,8	<i>Onuphis quadricuspis</i>	—
504	462	26	1,02	22,6	35,9	<i>Melinna elisabethae</i>	485,0
514	1005	47	1,22	32,1	16,3	<i>Sabellides octocirrata</i>	1021,0
518	1631	40	0,98	23,9	37,9	<i>Maldane sarsi</i>	1641,0
*523	34	12	—	—	41,2	<i>Myriochele heeri</i>	—
525	635	33	1,16	26,6	20,3	<i>Sternaspis scutata</i>	403,0
527	3865	65	0,90	27,2	52,2	<i>Spiophanes kroyeri</i>	4016,0
531	590	34	1,12	26,4	21,2	<i>Heteromastus filiformis</i>	398,6
533	774	30	1,09	24,6	21,4	"	518,7
569	166	21	0,77	?	56,0	<i>Myriochele heeri</i>	553,3
570	136	19	1,04	?	15,4	"	272,0
589.2	475	36	1,14	27,6	22,5	<i>Spiophanes kroyeri</i>	434,4
610	536	39	1,11	31,3	29,3	<i>Chone duneri</i>	568,0
613	1840	33	0,48	16,5	67,8	<i>Maldane sarsi</i>	1870,0
623	227	25	0,89	23,8	39,2	"	165,7
627	414	24	0,95	19,2	30,9	<i>Myriochele heeri</i>	278,0
637	137	17	0,86	?	39,4	"	274,0
650	242	18	0,87	17,3	40,5	"	122,0
*671	231	15	—	—	50,2	"	—
*681.1	56	6	—	—	41,1	<i>Maldane sarsi</i>	—
*682	45	12	—	—	46,7	"	—
*696	76	18	—	—	59,2	"	—
750	321	24	1,07	22,1	16,8	<i>Onuphis opalina</i>	218,0
770.5	275	31	1,16	28,8	21,1	<i>Glyphanostomum pallescens</i>	858,0
844	182	25	1,10	?	25,3	<i>Onuphis opalina</i>	146,4
950	193	18	0,91	?	29,5	"	122,6

* Echantillon invalide éliminé des calculs

N: nombre d'individus

S: nombre d'espèces

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_{10} p_i$$

S/200 indiv.: indice de Sanders (1968) (méthode de raréfaction)

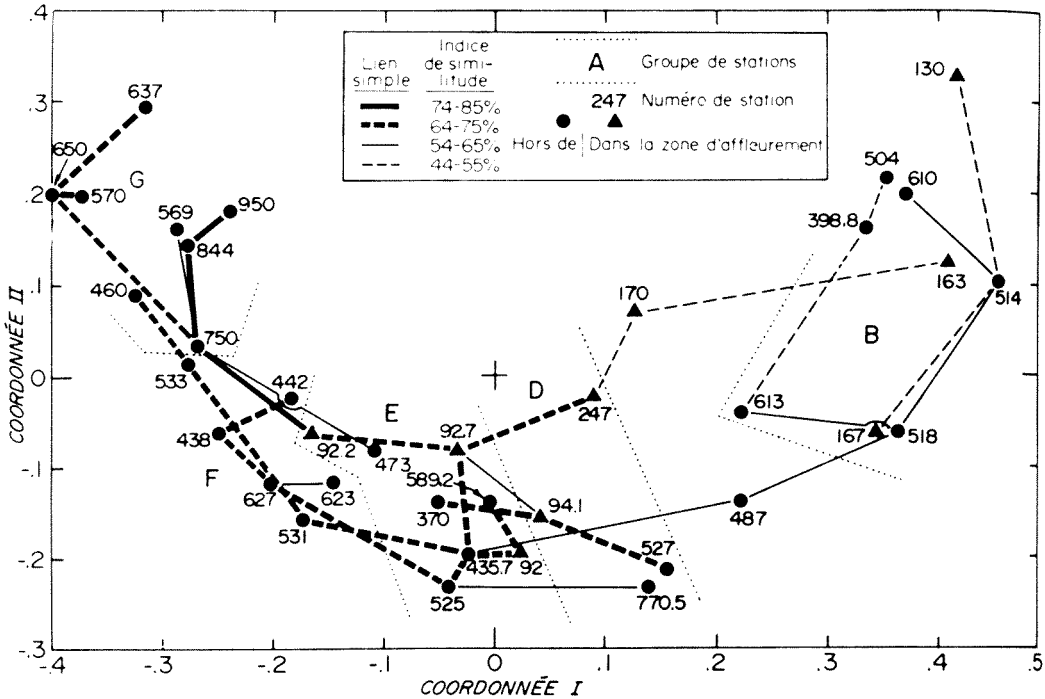


Figure 5. Ordination des 37 échantillons valides de Polychètes par les coordonnées principales I et II et superposition de la chaîne primaire des liens simples destinés au groupement. Les groupes sont cependant ceux de la matrice de similitude (fig. 4).

plus vaseuses de ce groupe (fig. 6), faisant le lien avec 487. Les stations attribuées au «groupe» A, déjà mentionnées, ne sont pas vraiment groupées mais sont marginales à B. On remarquera que la plus profonde, 247, a autant d'affinité avec le groupe D qu'avec A (fig. 4 et 6). La station 94.1 est marginalement reliée au groupe D (fig. 5). Autour du groupe E gravitent 4 stations, dont 3 sont plus vaseuses et 2 moins profondes que les 4 stations nodales du groupe (fig. 6). On voit (fig. 4) que la station 94.1 est presque aussi fortement associée à la station 370, très vaseuse comme elle (fig. 6), qu'à 527, de sorte qu'on pourrait aussi bien la rattacher au groupe E qu'au groupe D (fig. 5). Enfin, la station 460, rattachée au groupe G situé en aval (fig. 7) par l'ensemble de ses coefficients de similitude (fig. 4), a le plus d'affinité (lien simple) avec la station 533, et s'apparente aussi à presque toutes les stations profondes situées en amont.

On trouvera au tableau IV la liste des espèces dominantes (à 10% et plus) qui contribuent le plus aux similitudes entre

les stations, et que des échantillonnages additionnels confirmeront probablement comme caractéristiques des différentes associations. L'espèce dominante et son abondance relative à chaque station apparaissent au tableau III.

LES DENSITÉS

La densité des Polychètes dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent varie de 122 à 4016 individus par mètre carré, si l'on exclut l'échantillon 130, très petit. À l'échelle de l'ensemble de l'Estuaire, elle tend à augmenter fortement avec le pourcentage de sable dans le sédiment (fig. 8A) : sur les fonds sablonneux (>50% de sable), elle est de 485-4 016 indiv./m² et en moyenne de 1 572 ± 524 indiv./m² à 9 stations, soit deux fois plus élevée que sur fonds vaseux où elle est de 122-2 740 indiv./m² et en moyenne de 762 ± 144 indiv./m² à 28 stations, et de 122-744 indiv./m² aux 22 stations des groupes E, F et G.

La densité tend-elle à diminuer avec la profondeur? À l'échelle de l'Estuaire entier,

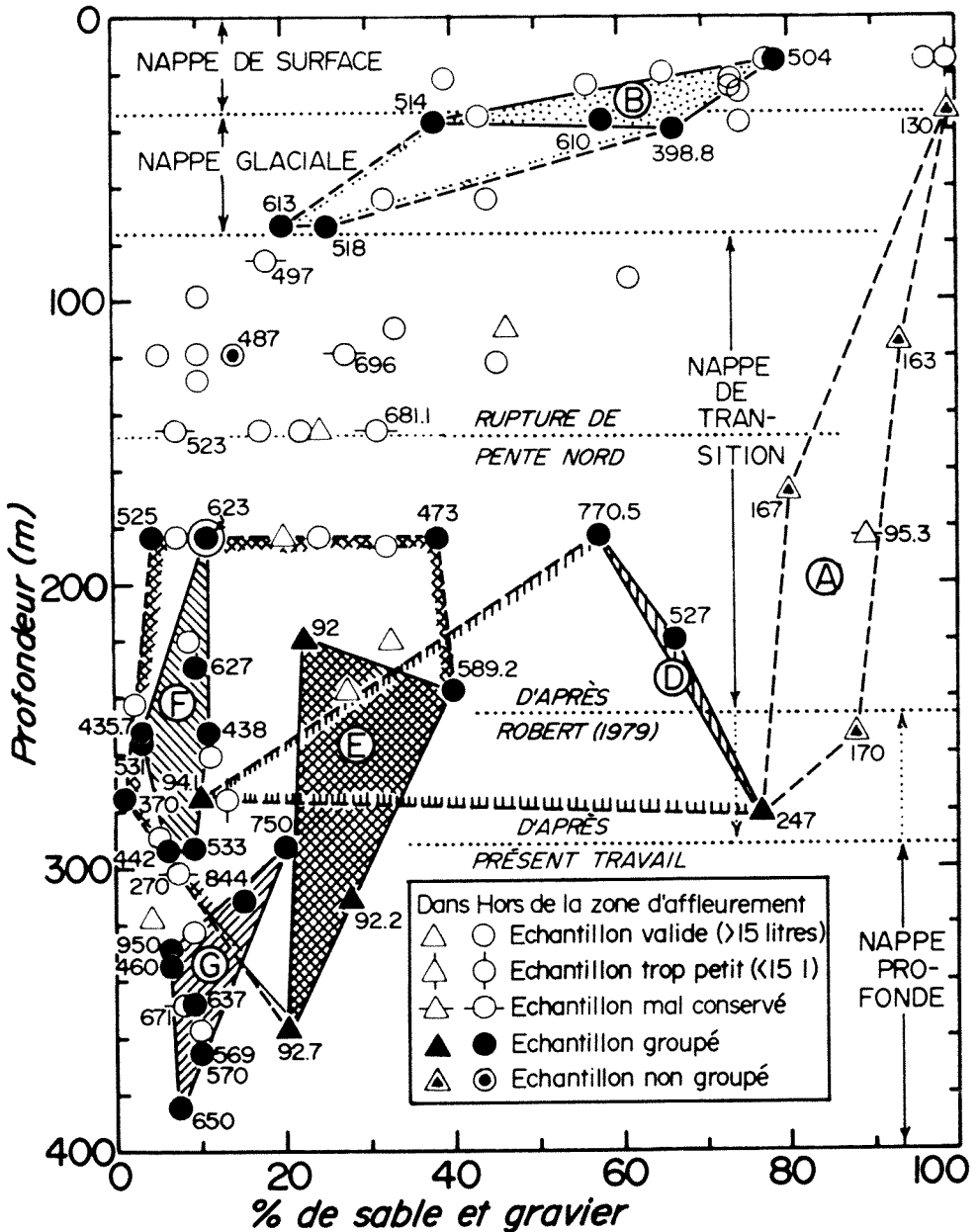


Figure 6. Distribution des associations A-G de Polychètes endobenthiques, en fonction de la profondeur et de la granulométrie du sédiment. Les pointillés marquent les principales limites physiques du milieu (fig. 2). Les numéros de stations n'accompagnent que les stations étudiées, les cercles foncés représentant des échantillons valides et les cercles blancs sans numéros, les échantillons disponibles à étudier. Les échantillons marginalement groupés sont liés au groupe principal par des traits discontinus à grille marginale.

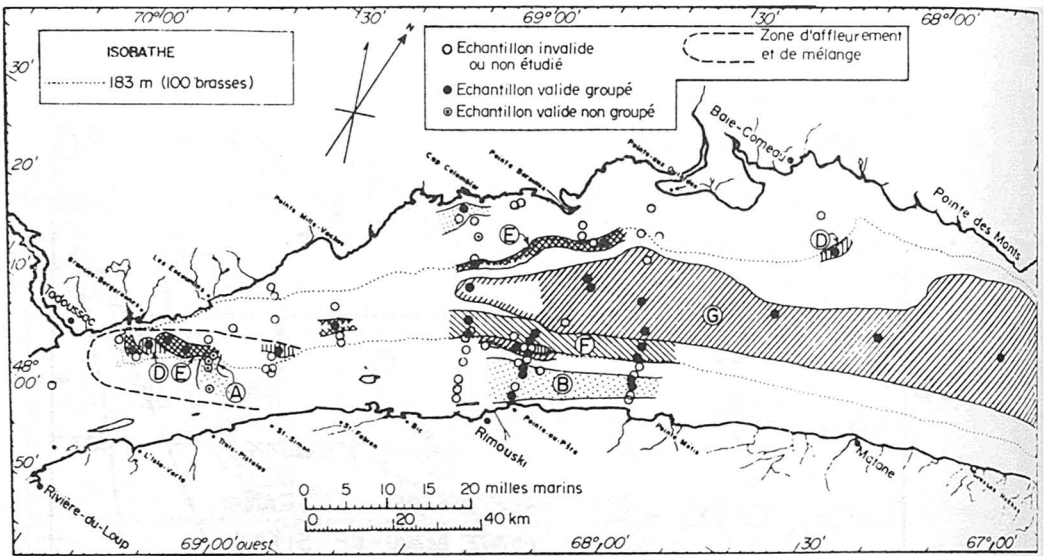


Figure 7. Distribution géographique des associations A-G de Polychètes endobenthiques dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent.

il y a une diminution qui ne semble coïncider qu'en partie avec la diminution bathymétrique de la teneur en sable (fig. 8A): de 15 à 120 m de profondeur, quel que soit le type de sédiment, la densité est de 485-1 870 indiv./m² dans l'association B et à la station 487, sur le plateau nord plus vaseux; de 115 à 300 m sur fonds sablonneux (>50% de sable), par contre, elle est plus élevée, de 846-4 016 indiv./m² dans les associations A et D. D'autre part, elle est moins élevée sur les fonds plus vaseux et plus profonds (180-385 m), où elle est de 122-744 indiv./m² à 20 stations sur 23 des associations E (incluant ici 94.1, 370 et 435.7), F et G.

À cause de l'effet perturbateur de la zone d'affleurement sur l'étagement des associations, nous avons examiné (fig. 9) séparément l'effet de la profondeur sur deux groupes de stations. D'une part, toutes les stations des groupes suivants, B, 487, 525 + 435.7 (vaseuses marginales à E), F et G, situées en aval de l'île du Bic et étagées dans cette même séquence (fig. 6) suivant le gradient bathymétrique combiné sédiments-topographie-masses d'eau typique de l'Estuaire maritime hors de la zone d'affleurement. D'autre part, toutes les stations de la zone d'affleurement, quelle que soit leur granulométrie, plus les stations de sables profonds sur les talus, ainsi que les stations 370, vaseuse profonde mais

riche en lignine et située en amont de l'île du Bic, et 473, la plus sablonneuse des marginales de E (fig. 6). Ces groupes forment un gradient sur des fonds généralement plus ensablés que ceux de l'autre groupe pour un même étage (fig. 6), dans la séquence bathymétrique suivante: A, D (incluant 94.1), E (moins 435.7 et 525). On peut voir (fig. 9) que la densité des deux grands groupes de stations tend à diminuer avec la profondeur, à un niveau de densité plus élevé pour le groupe le plus ensablé.

Les groupes de stations qui permettent de séparer le plus nettement l'effet de la teneur en sable de celui de la profondeur sont peu nombreux et généralement situés dans des secteurs différents de l'Estuaire: les trois stations nodales du groupe D ont des densités supérieures à celles des trois stations granulométriquement comparables mais moins profondes du groupe B (fig. 8A), alors que les quatre stations nodales du groupe E ont des densités inférieures aux trois stations équivalentes et aussi moins profondes du groupe B. La meilleure comparaison peut toutefois se faire entre les deux groupes G et F de stations vaseuses (1-20% de sable): comme l'illustrent les figures 6 et 8A, les plus profondes ($\bar{x} = 342$ m, groupe G excluant 460) ont une densité ($\bar{x} = 244$ indiv./m², $s = 151$) deux fois plus faible que celle ($\bar{x} = 482$, $s = 353$) des moins

TABLEAU IV

Espèces et groupes d'espèces dominantes de Polychètes aux stations étudiées dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent.
Espèces de densité supérieure à 10% de tous les Polychètes de la station, ordonnées selon leur similitude (fig. 4)

Stations	Groupe	A								B				C				D				E						F						G					
		163	130	504	514	610	398.8	518	613	487	167	170	527	770.5	247	94.1	370	473	92	589.2	92.2	92.7	525	435.7	623	627	442	438	531	533	750	844	950	570	650	637	569	460	
<i>Spiophanes kroyeri</i> Grube		•	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Potamilla neglecta</i> (M. Sars)		•	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Maldane sarsi</i> Malmgren		-	-	-	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Sternaspis scutata</i> (Ranzani)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Melinna elisabethae</i> McIntosh		-	•	•	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Pectinaria granulata</i> (L.)		-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Sabellides octocirrata</i> Malmgren		-	-	-	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Chone duneri</i> Malmgren		-	-	-	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Onuphis quadricuspis</i> G.O. Sars		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Glyphanostomum pallescens</i> (Théel)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Chone</i> sp/2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Myriochele oculata</i> Zachs		-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Jasmineira elegans</i> Saint-Joseph		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Myriochele heeri</i> Malmgren		-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Melinna cristata</i> (M. Sars)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Lumbrineris</i> sp/1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Anobothrus gracilis</i> (Malmgren)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-		
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Trochochaeta carica</i> Birula		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Lumbrineris latreilli</i> (Audouin & Milne-Edwards)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Onuphis opalina</i> (Verrill)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Spiochaetopterus typicus</i> M. Sars		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Tharyx acutus</i> Webster & Benedict		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•		
<i>Cossura longocirrata</i> Webst. & Ben.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•		
<i>Ceratocephale loveni</i> Malmgren		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•		
<i>Ancistrosyllis groenlandica</i> McIntosh		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•		

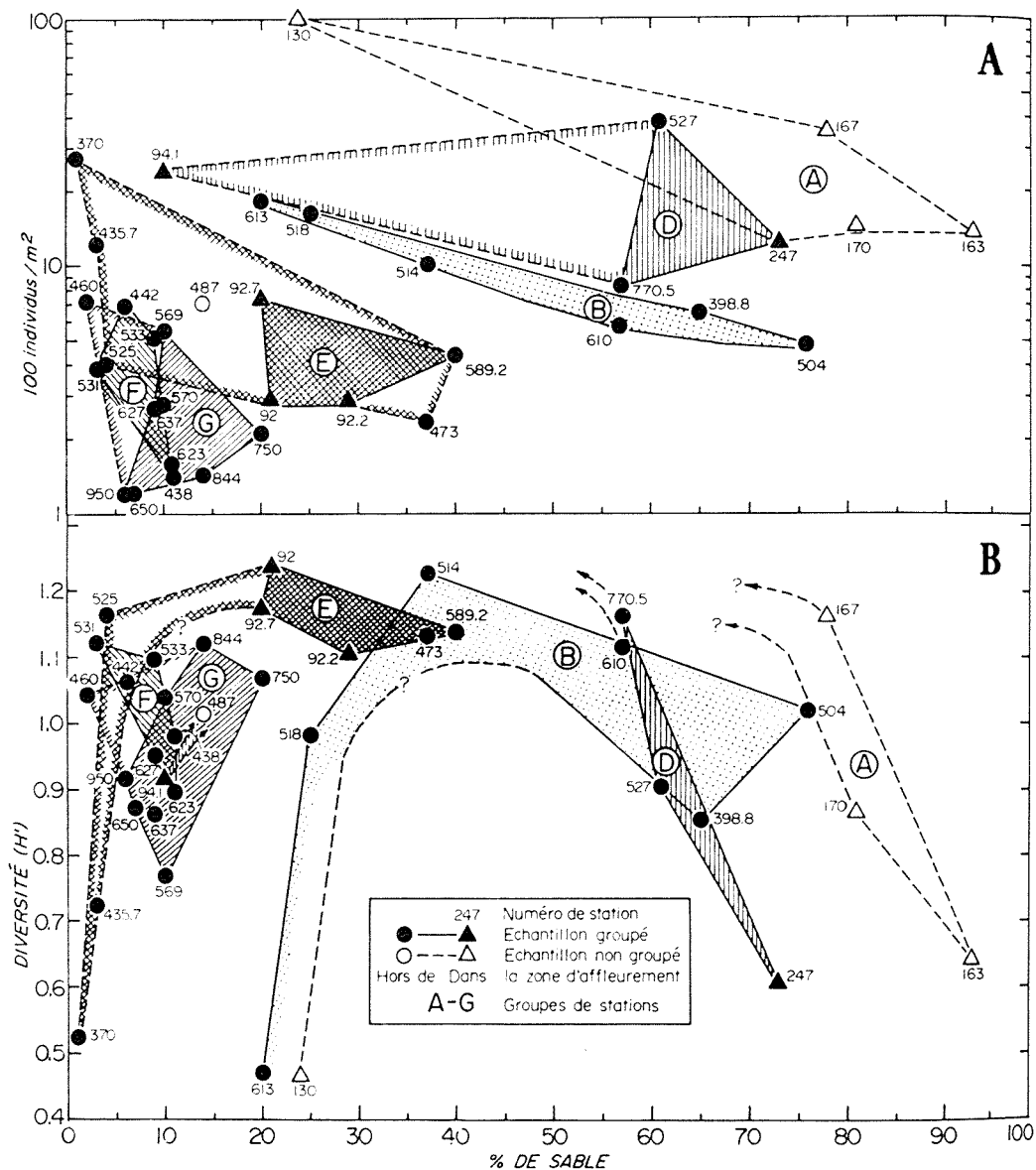


Figure 8. Densité (A) et diversité (B) des Polychètes endobenthiques à chaque station (numéro indiqué), en fonction de la proportion de sable dans le sédiment. Les échantillons (cercles et triangles) sont groupés selon les associations A-G de la figure 4. Les échantillons marginalement associés sont liés au groupe principal par des traits discontinus à grille marginale.

profondes ($\bar{z} = 243$ m, groupe F + stations marginales 525 et 435.7 du groupe E). La différence entre les deux moyennes, éprouvée par un test de t pour les petits échantillons sur les données transformées (\log_e), est significative ($0,05 > p > 0,025$).

L'effet possible de la zone d'affleurement sur la densité semble coïncider dans l'ensemble avec le taux d'ensablement relatif

(fig. 9). Pour savoir si cette zone a sur les densités des effets indépendants de la granulométrie, il faut comparer ses stations profondes et vaseuses avec les stations de même nature situées en aval. Les stations vaseuses (>50% de « limon ») plus profondes que 60 mètres sont assez nombreuses (26) pour permettre d'éprouver statistiquement la tendance pour les densités de diminuer,

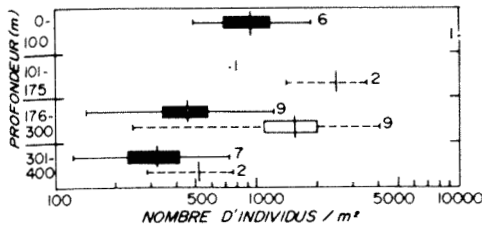


Figure 9. Densité des Polychètes en fonction de la profondeur et de l'ensablement relatif dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. La moyenne, son erreur standard, l'amplitude totale et le nombre d'échantillons sont indiqués. Traits continus: groupes de stations du gradient bathymétrique le moins ensablé en aval de l'île du Bic (B, 487, 525 et 435.7, F, G). Traits discontinus: groupes du gradient le plus ensablé, surtout dans la zone d'affleurement (A, D, E moins 525 et 435.7)

de 1 313 à 400 indiv./m² en moyenne, avec la distance de la zone d'affleurement (fig. 10). Cette tendance est significative ($p < 0,01$). Sur fonds sablonneux, la diminution moyenne de 1 896 à 706 indiv./m² vers l'aval ne peut être éprouvée statistiquement à cause des faibles effectifs. On doit admettre toutefois que ces deux comparaisons n'excluent pas complètement la possibilité d'un effet du sable, les stations profondes de la zone d'affleurement étant encore un peu plus sablonneuses (différence de l'ordre de 20%, fig. 6) que celles de l'aval.

LES DIVERSITÉS SPÉCIFIQUES

Nous avons calculé, pour chacun des 37 échantillons valides, la diversité spécifique (Pielou, 1975) de la faune des 109 espèces étudiées de Polychètes selon l'un des moins mauvais indices, celui de Shannon-Wiener, $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log p_i$, où s est le nombre d'espèces et p_i la proportion de la $i^{\text{ème}}$ espèce dans l'échantillon. Nous avons employé le logarithme à base 10 des nombres bruts d'individus par échantillon, de sorte que les valeurs de H' sont exprimées en décits. L'indice H' étant indépendant de la taille de l'échantillon, et les volumes de 33 des échantillons étudiés étant de 30 litres ou plus, l'emploi des nombres bruts plutôt que des densités ne semblait pas contre-indiqué. En pratique, les valeurs H' de diversité estimées selon la formule de Brillouin, théoriquement plus appropriée selon Pielou, ne diffèrent que de façon négligeable des valeurs de H' (Legendre et Legendre, 1979).

La diversité à chaque station est présentée (fig. 8B) en fonction du pourcentage de sable dans le sédiment, les échantillons étant groupés selon les associations distinguées plus haut (fig. 4-5). La tendance générale qu'on observe est celle d'une augmentation de la diversité jusqu'à un maximum entre 30 et 60% de sable, suivie d'une diminution sur les fonds plus sablonneux. De plus, les associations B et E semblent chacune manifester cette tendance, en passant chacune par son propre maximum situé à 30-60% de sable pour le groupe B mais vers 15-25% de sable pour le groupe E. Malgré leurs effectifs trop faibles, les groupes A et D donnent des signes de la même tendance, avec laquelle la forme de l'enveloppe du groupe G concorde également. La tendance générale peut être éprouvée statistiquement par un test de Chi carré sur le tableau de fréquences suivant tiré de la figure 8B :

Sable	0-30%	31-60%	61-100%
$H' > 1$	12	5	2
$H' < 1$	13	0	5

La différence des fréquences, après la correction de Yates, est significative ($0,02 > p > 0,01$). Nous avons aussi calculé la régularité ($J' = H'/H' \text{ max}$), le nombre d'espèces par 200 individus selon la méthode de rarefaction de Sanders (1968) (tableau III), et l'indice de diversité ($d = S - 1/\log_e N$) de Margalef (Sanders, 1968). Chacun de ces indices produit un graphique (Massad, 1975; fig. 47, et graphiques inédits) généralement semblable à celui de la figure 8B. L'indice d , plus sensible que les trois autres à la taille de l'échantillon, montre avec H' des corrélations distinctes et à des valeurs généralement plus élevées pour les groupes A, B et D (sablonneux mais plus riches en individus: fig. 8A) que pour les groupes E, F et G (vaseux et plus pauvres).

En profondeur et en aval de l'île du Bic (groupes F et G), la diversité est plus faible, selon les indices d et de Sanders, que pour la plupart des autres stations, mais la régularité, que reflète davantage l'indice H' , est plus grande. Par contre, dans la zone d'affleurement et sur les fonds sablonneux, la diversité est plus variable, et lorsqu'elle est très faible, selon tous les indices sauf d , comme aux stations 130, 247 et 163, c'est que la dominance d'une espèce est très forte (tableau III); lorsqu'elle est élevée, comme aux stations 92, 92.2 et 92.7, c'est à cause de la régularité (J'). Compte tenu des incertitudes qui affectent

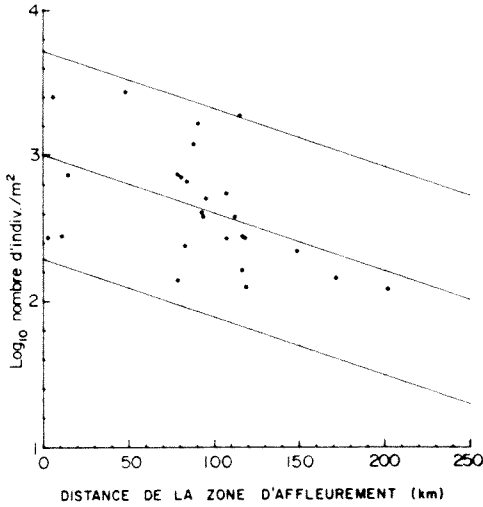


Figure 10. Densité totale des Polychètes endobenthiques des fonds vaseux (>50% « limon ») plus profonds que 70 m dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent en fonction de la distance de la zone d'affleurement proche du Saguenay. La droite de régression et l'intervalle de confiance à 95% sont indiqués.

encore l'emploi des différents indices de diversité (Gray, 1974; Smith et Grassle, 1977) et de la faiblesse de nos effectifs, nous ne tenons compte ici que des tendances les plus évidentes et préférons attendre l'analyse complète de toutes les familles et de toutes les stations pour exploiter plus à fond ce type de mesure.

LES GROUPES TROPHIQUES

Les Polychètes Sédentaires microphages et tubicoles sont 5-10 fois plus abondantes dans nos échantillons que les Errantes, généralement macrophages et souvent prédatrices mobiles. La densité moyenne des secondes sur fonds de sable (>50% de sable et gravier) est comparable (138 ± 48 indiv./m²) à leur densité (125 ± 24 indiv./m²) sur fonds vaseux (<50% de sable et gravier), mais celle des Sédentaires est nettement plus élevée sur sable ($1\,384 \pm 358$ indiv./m²) que sur vase (554 ± 123 indiv./m²). Nous avons exprimé les données sous forme de fréquences dans trois classes exponentielles de densité (tableau V). Outre la différence mentionnée ci-dessus, on voit sans peine que sur un même type de fond, les Sédentaires sont toujours plus abondantes que les Errantes, et qu'elles le sont davantage sur la vase.

Les 34 familles de Polychètes représentées dans notre matériel ont été classées selon quatre modes principaux d'alimentation, d'après les travaux de Hunt (1925), Sanders (1956), Pettibone (1963), Nesis (1965) et Day (1967), dont le classement est tabulé par Massad (1975). Nous sommes conscients des effets simplificateurs d'un classement par familles, mais la dominance des familles bien connues (Ampharetidae, Terebellidae, Spionidae, Sabellidae) dans leur groupe trophique, et les doutes soulevés dans la discussion sur le caractère carnivore des Errantes, sont tels que les conclusions synécologiques n'en sont

TABLEAU V

Fréquence de 36 échantillons valides¹ dans trois classes de densité des deux sous-classes de Polychètes selon la nature du sédiment

	% de « limon »	Sous-classe	Nombre d'individus / m ²		
			25-300	301-900	901-3527
Sable	<50%	Errantes	9	1	0
		Sédentaires	0	4	6
Vase	>50%	Errantes	24	2	0
		Sédentaires	13	8	5

¹ Échantillon 130 exclu

pas affectées. Notre classement est le suivant, nos doutes étant naturellement supprimés dans les groupes trophiques retenus :

Carnivores: Aphroditidae, Polynoidae, Sigalionidae, Phyllodocidae, Pilargiidae, Syllidae, Nereidae, Nephtyidae, Sphaerodoridae (?), Goniadidae, Onuphidae, Eunicidae, Lumbrineridae (?), Arabellidae et Dorvilleidae (donc les Errantes moins les Glyceridae)

Détritivores sélectifs: Glyceridae (?), Orbiniidae (?), Paraonidae, Spionidae, Trochochaetidae, Cirratulidae, Flabelligeridae, Sternaspidae, Pectinariidae, Ampharetidae, Terebellidae et Trichobranchidae

Détritivores non sélectifs: Scalibregmidae, Opheliidae, Capitellidae, Maldanidae et Oweniidae

Sestonophages: Chaetopteridae et Sabellidae

La proportion, en nombre relatif (%) d'individus, contribue à la faune totale des Polychètes, par chacun de ces quatre groupes trophiques est présentée (fig. 11) pour les 37 stations valides groupées selon les associations définies plus haut. Nous avons également préparé pour chaque groupe trophique un diagramme de dispersion (non présenté ici) de son importance relative en fonction de la teneur en sable. Les tendances observables sur ces graphiques sont résumées sur la figure 11. (a) Les sestonophages ont leur importance

relative maximale sur les fonds les plus sablonneux, surtout dans la zone d'affleurement (groupe A, station 92) où ils représentent 26-42% des Polychètes, mais aussi dans le groupe B sur le plateau sud (stations 514 et 610), où leur importance relative moyenne n'est toutefois que de 4-19% à 3 stations sur 4. Sur fonds de vase, leur importance (1-21%) est la même en amont qu'en aval. (b) L'importance relative des détritivores sélectifs, maximale dans le groupe D sabulicole et les stations vaseuses marginales du groupe E, diminue progressivement selon une séquence A — B — 518 + 613 propre aux fonds les plus sablonneux et les moins profonds, et une autre séquence D — E — F — G propre aux fonds plus vaseux et plus profonds. En profondeurs supérieures à 250 m sur la vase, ils comptent davantage (31-75% des Polychètes) dans la zone d'affleurement qu'en aval (13-41% à 9 stations sur 11). Leur importance sur le sable (38-86%) n'est pas aussi nettement plus grande dans la zone d'affleurement qu'en aval. (c) L'importance des détritivores non sélectifs suit deux séquences inverses de la précédente, sauf qu'on a l'ordre F — G — E — D qui reflète (d) l'importance beaucoup plus grande

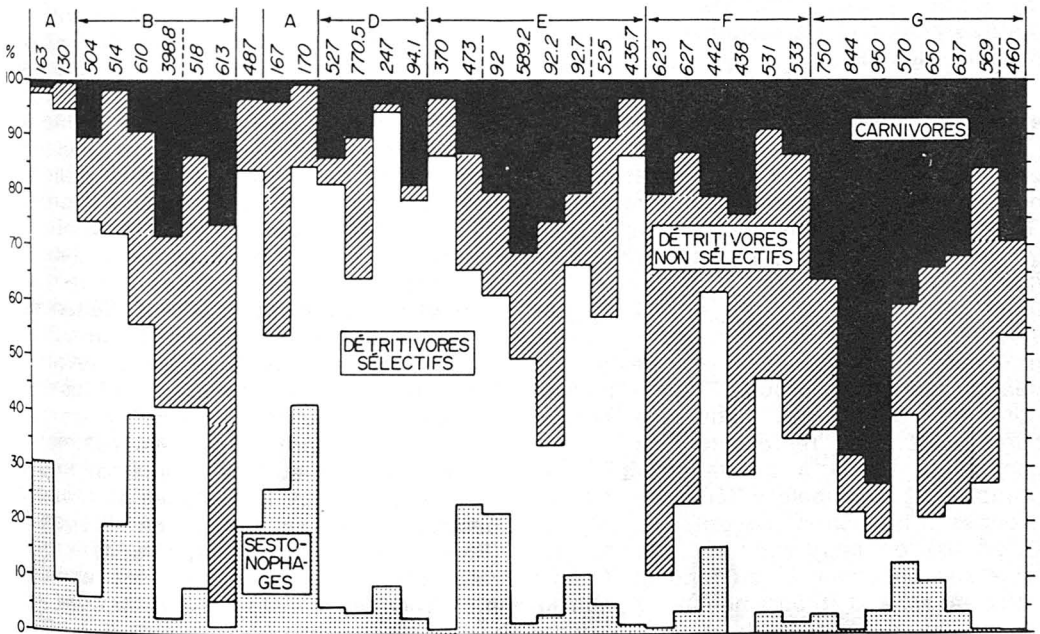


Figure 11. Proportion des quatre principaux groupes trophiques de Polychètes dans les 37 échantillons endobenthiques valides de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Les échantillons sont groupés selon les associations A-G de la figure 4. Les échantillons marginalement associés sont séparés du groupe principal par des traits discontinus.

des carnivores sur la vase de la nappe profonde d'aval (groupe G) que dans toutes les autres associations, importance qui décroît ensuite très graduellement selon la séquence granulométrique: F — E élargi — B — D — A. Les carnivores mobiles constituent en moyenne 12% des Polychètes à des profondeurs moindres que 250 m, mais 30% à plus de 250 m.

Discussion et conclusions

ÉTAGEMENT DES ASSOCIATIONS

L'étagement des associations en profondeur (fig. 6-7) est l'une des conclusions assez nettes de nos observations, et résulte de la stratification également assez nette des discontinuités physiques dans l'Estuaire (tableau II). La topographie marquée par des plateaux, ruptures de pentes, et bassin profond, se répercute sur la granulométrie des sédiments, qui constitue apparemment le facteur écologique dominant. La stratification en quatre nappes d'eau de températures différentes et de stabilité thermique croissante en profondeur se superpose au gradient granulométrique et topographique pour accentuer les effets de ce dernier. Il est difficile de dissocier ces deux gradients écologiques, même lorsqu'ils sont perturbés dans la zone d'affleurement et de mélange (groupe A), discutée plus bas.

Les associations de Mollusques formées entre les 73 stations étudiées par Robert (1974, 1979) concordent bien avec les nôtres dans l'ensemble. Le groupe B de Robert correspond exactement à notre groupe G, la station 460 étant transitionnelle dans les deux cas, son groupe A équivaut à notre groupe B, et son groupe D (moins les stations 531 et 533) à notre groupe E. Les stations de notre groupe A ne sont pas plus fortement associées dans son travail que dans le nôtre. Son groupe F sur le plateau nord ne ressort pas dans nos relevés parce qu'il n'est représenté que par un échantillon valide à la station 487, non groupée. La principale différence entre ses groupes et les nôtres concerne ses groupes C, au bas du talus sud, et E, au bas du talus sud en amont et au fond du Chenal entre la zone d'affleurement et Rimouski. Ce dernier groupe est le plus mal défini d'après les Mollusques, et il ne correspond qu'approximativement à nos groupes F et D, plus trois stations marginales (370, 525 et 435.7) de notre groupe E. Dans les deux

études, le nombre d'échantillons du fond du Chenal dans cette zone apparemment critique (voir plus bas) entre la zone d'affleurement et la station 460 se révèle insuffisant.

L'étagement bathymétrique des associations, tant de Polychètes que de Mollusques, est rompu dans deux cas principaux requérant chacun une interprétation particulière, donnée plus bas: (a) l'association profonde du Chenal en aval (notre groupe G) semble remplacée par d'autres groupes en amont de Rimouski, sans changement apparent du gradient granulométrique ou hydrographique; (b) les fonds de la zone d'affleurement et de mélange ne le révèlent plus que de façon très grossière par les groupes A et E nodal, ces stations montrant autant (A) ou presque autant (E) d'affinités entre elles qu'avec celles des mêmes étages situées en aval (fig. 4).

EFFET DES SÉDIMENTS

L'effet des sédiments sur la densité, la diversité et les groupes trophiques d'invertébrés benthiques est assez bien documenté, sinon bien expliqué, comme le font voir les revues de Gray (1974) et Rhoads (1974). En général, on observe que les densités, biomasses, diversités et proportion de suspensivores augmentent sur fonds de sables vaseux et diminuent, sur fonds vaseux et, sauf pour les densités, sur fonds très sablonneux. On explique ces tendances par une plus grande instabilité des sédiments extrêmes que des mélanges sable-vase. Les sables propres généralement peu profonds sont soumis à l'agitation mécanique des courants et de la turbulence, les sables vaseux sont souvent stabilisés par des populations denses d'invertébrés tubicoles (surtout des Polychètes Sédentaires et des Amphipodes) fournissant un substrat plus ferme et plus hétérogène favorisant l'implantation d'autres espèces, et les vases molles sont souvent soumises à un brassage (bioturbation) par des espèces mobiles qui bloquent en surface l'implantation d'autres espèces plus sédentaires et remettent beaucoup de sédiments en suspension (Rhoads, 1974). Nos résultats sont généralement conformes à toutes ces tendances (fig. 8).

Nos estimations de densité sont sujettes à une incertitude quant à la sélectivité de la drague Spatangue. L'augmentation des densités avec la teneur en sable (fig. 8A),

donc avec la difficulté pour la drague de pénétrer assez profondément dans le sédiment, peut être due en partie à sa sélectivité de la strate superficielle la plus riche en animaux. Inversement, sur vases très molles, l'appareil a pu s'enfoncer sous les six centimètres supérieurs du sédiment et prélever surtout dans les strates sub-superficielles à pauvreté croissante, plus favorables aux Errantes qu'aux Sédentaires. Ce problème de sélectivité benthique est général à toutes les études quantitatives, par bennes ou par dragues (Holme et McIntyre, 1971), et vicie les comparaisons avec d'autres travaux, comme le fait aussi celui de la sélectivité des mailles du tamis le plus fin choisi pour séparer les animaux du sédiment. Les auteurs qui ont utilisé comme nous un tamis de 1 mm, mais des bennes à sélectivité différente de celle des dragues ancreuses, obtiennent dans l'ensemble, sur sédiments comparables, des densités de Polychètes très comparables aux nôtres, nullement indicatrices d'une grossière sélectivité de notre drague. En milieu subarctique ouest-groënlandais, Curtis (1977) trouve des densités de 2 440-2 845/m² à 3-47 m, sur vases ou sables gravelleux de la côte exposée et instable, et de 132-1 121/m² à 3-107 m sur vases dans un fjord plus stratifié et plus pauvre. Dans des eaux de la mer de Beaufort plus exposées et apparemment aussi instables que celles du Saint-Laurent, Carey *et al.* (1974) trouvent des densités de l'ordre de 1 500 Polychètes au m² à 100-360 m de profondeur sur vases à environ 60% de limon-argile, densités qui ne semblent pas beaucoup plus élevées que les nôtres. En Nouvelle-Angleterre par 40-100 m de fond, Wigley et McIntyre (1964) citent des valeurs de 440-1 735/m² sur sables et de 270-1 105/m² sur vases. Sur fonds de sable peu vaseux, notre drague Spatangue ne surestime guère plus que du double les densités d'endobenthos sédentaire (Pélécy-podes), tandis qu'elle peut les sous-estimer plus gravement sur vases très molles, dans le Chenal laurentien. Les gradients de diminution des densités avec la profondeur (fig. 8A) et la distance du Saguenay (fig. 10), ainsi que l'écart dans ce gradient entre les fonds plus ou moins ensablés (fig. 9), sont donc sans doute moins prononcés que nous les observons; toutes ces tendances devront donc être réexaminées avec un autre appareil de prélèvement.

Le groupement de nos échantillons en associations nous permet d'examiner et de

comparer les processus écologiques qui ont lieu à l'intérieur de biotopes relativement homogènes. Ainsi, si dans chaque groupe la diversité semble diminuer vers les extrêmes du spectre granulométrique, en passant par son maximum propre (fig. 8B), c'est probablement que chaque association est caractérisée par des vers de taille adaptée à celle des grains du biotope, taille présumément optimale pour la teneur en sable produisant la diversité et la régularité (J') maximale de ce groupe. L'effet ordinaire d'un tel gradient est une diminution de densité de part et d'autre de l'optimum. La figure 8A suggère cette diminution avec l'augmentation du sable, mais la densité tend d'abord à augmenter du côté des particules fines, ce qui signifie qu'une diminution de taille précède l'inévitable diminution de densité et le passage à une autre communauté. Il est intéressant de noter que les échantillons 370, 94.1 et 435.7 sont en effet dominés par des espèces de petite taille, et que c'est une forme petite de *Maldane sarsi* qui domine à 518, et ensuite que les six stations responsables de cette augmentation de densité (>1 000 indiv./m² et <30% de sable) sont toutes classées comme marginales à leur groupe (fig. 4). Il s'agit donc probablement d'écotones entre communautés, souvent marquées à la fois par la forte dominance d'une espèce et la persistance de nombreuses autres (tableau III), comme à 94.1, 435.7, 370, 613 et 130.

PROFONDEUR ET NOURRITURE

On interprète généralement la diminution exponentielle de la biomasse et de la densité des populations zoobenthiques marines avec la profondeur comme découlant de la rareté croissante de nourriture venue des nappes superficielles. Pour des fonds à sédiments comparables, typiquement des vases, on observe ce gradient à l'échelle des profondeurs abyssales (Rowe, 1971) comme à celle du plateau continental (Curtis, 1975). Nos estimations de densités montrent la même tendance (fig. 9), qui se complique toutefois d'une augmentation parallèle de la teneur en vase (fig. 8A), complication dont ne sont pas toujours exemptes mais qu'ignorent trop souvent les recherches courantes sur les fonds bathyaux et abyssaux (Gray, 1974).

Dans l'Estuaire maritime, il n'est possible d'isoler l'effet dépressur de la profondeur de celui de la vase sur la densité (fig. 9) qu'en comparant les deux groupes F et G

de fonds vaseux (fig. 6 et 8A). La densité deux fois plus faible du second, à une profondeur supérieure d'une centaine de mètres, justifie d'examiner la possibilité d'un effet de la production primaire de surface. Cette production est tardive (juillet-août), selon Spence et Steven (1974), Sinclair *et al.* (1976) et Sinclair (1978) et, selon Steven (1974), imprévisible mais au moins aussi élevée que celle de la baie des Chaleurs, sur une base annuelle. Si l'apport au fond de particules nutritives, sous forme de pelotes fécales plutôt que de particules fines, est faible, ce qu'on ignore encore, ce serait que la consommation pélagique ou l'exportation de ce tripton par advection (voir Ingram, 1979) sont importantes. L'hypothèse d'une telle pauvreté au fond semble appuyée par l'augmentation coïncidente de F à G de la proportion de formes mobiles classées ici comme carnivores (fig. 10), dont la stratégie trophique serait favorisée dans les milieux pauvres en ressources alimentaires, comme le sont les fonds vaseux abyssaux (Jumars et Fauchald, 1977), ou les vases même moins profondes de la Méditerranée (Riedl, 1961), mer très pauvre. Nous croyons que le caractère mobile de ces Errantes, lié à la recherche active d'une nourriture rare, plutôt que leur caractère carnivore, peut expliquer leur importance au fond du Chenal. Chez les Gastropodes, Rex (1973) observe aussi une augmentation de la proportion de prédateurs avec la profondeur, de 500 à quelque 2 500 mètres, augmentation qui accompagne des densités décroissantes et une diversité stable ou légèrement croissante reflétant présumément des pyramides trophiques de plus en plus nombreuses mais, de plus en plus «petites»; sur la plaine abyssale plus profonde, cependant, la rareté de nourriture et de la faune deviennent telles que la proportion de prédateurs tombe avec la diversité: les pyramides trophiques seraient amputées au sommet et moins nombreuses.

Dans l'Estuaire, nos données suggèrent plutôt une *diminution* de la diversité (surtout d'après les indices d et de raréfaction) et de la richesse en espèces (tableau III) avec l'augmentation de l'importance des Errantes. Avec Sanders *et al.* (1962) et Jumars et Fauchald (1977), on peut donc douter du caractère carnivore de beaucoup d'Errantes, et concentrer plutôt l'attention sur la mobilité et le rayon d'action («ambit») des espèces, spécialement grands sur fonds de vase (Rhoads, 1974). C'est là un aspect

de ce que Rhoads appelle l'amensalisme entre groupes trophiques, c'est-à-dire l'exclusion mutuelle des détritivores plus mobiles et des sestonophages moins mobiles, que nos résultats indiquent (fig. 11). Cependant, puisque nous avons comparé deux associations de vases à profondeurs différentes, l'interprétation centrée sur les ressources alimentaires décroissantes tient toujours, au moins comme hypothèse à vérifier.

LA ZONE D'AFFLEUREMENT

La zone d'affleurement et du courant du Saguenay a pour effets d'augmenter la densité des Polychètes (fig. 8A, 9) et la proportion de sestonophages (fig. 11) à toutes les profondeurs. En profondeur, elle tend à augmenter la régularité (J' et H' élevés), c'est-à-dire le nombre d'espèces présentes, alors que sur le plateau sud et le talus sud, elle accentue la dominance de l'espèce la plus importante (H' bas). Tous ces effets semblent s'expliquer en grande partie par l'ensablement plus grand, l'instabilité et l'hétérogénéité des fonds de cette zone. D'après les spectres dimensionnels de particules en suspension, Kranck (1979) croit que les eaux de l'Estuaire moyen et du Saguenay contribuent à une sédimentation de particules sablonneuses dans cette zone. Des échogrammes du talus sud montrent des irrégularités indicatrices, selon d'Anglejan (comm. pers.) d'éboulements possibles de masses sédimentaires importantes. Cela peut créer selon nous des substrats en mosaïques granulométriques éphémères ou durables et des extinctions ou explosions démographiques très localisées, en même temps que des enrichissements temporaires des populations de Polychètes. Dans la fosse des Aléoutiennes, l'activité sismique augmenterait de façon analogue la densité endobenthique en diminuant sa diversité et en altérant la composition taxonomique normale des communautés à ces profondeurs (Jumars et Hessler, 1976). Le brassage vertical et l'instabilité thermique contribuent sans doute également aux échanges verticaux d'espèces qui se traduisent par des indices de similitude élevés entre les stations de cette zone situées à des étages différents.

Des processus analogues aux éboulements que nous envisageons, mais moins fréquents ou profonds, peuvent se produire sur les talus situés en aval, comme aux stations 770.5 et 527. À cette dernière,

le milieu sablonneux constituait une enclave très petite que nous n'avons pu retrouver malgré nos efforts deux ans plus tard. Des enclaves de lignine comme celle que nous avons observée à la station 370, où la faune était aux trois quarts dominée par une seule espèce (tableau III), ajoutent également à l'hétérogénéité des fonds de la zone d'affleurement.

On ne peut exclure complètement un enrichissement trophique des fonds par les cadavres d'espèces zooplanctoniques, abondantes dans la zone d'affleurement (Côté, 1972) et exposées aux stress de l'instabilité thermique: la densité à la station 94.1, aussi vaseuse et profonde que 370, est avec 370 la quatrième plus élevée de nos prélèvements (fig. 8A).

RÉGIME SESTONIQUE

Le régime sestonique des masses d'eau semble jouer un rôle dans la distribution géographique des associations. L'interruption de l'association G du fond du chenal laurentien en face de Rimouski (fig. 7), et son remplacement vers l'amont par des communautés légèrement modifiées (en commençant par la station 460) de Polychètes et de Mollusques (Robert, 1979) ne s'expliquent pas par les facteurs de stratification des masses d'eau, de topographie ou de granulométrie, puisque ces changements se produisent assez loin en aval de la zone d'affleurement. Des facteurs pélagiques interviennent probablement, liés au courant oblique traversant l'Estuaire de l'île du Bic vers la côte nord (El-Sabh, 1979) et charriant selon Kranck (1979, fig. 2B) de faibles concentrations d'un tripton terrigène issu de l'Estuaire moyen et du Saguenay. Ce tripton se mélange graduellement avec le plancton qui s'y développe en quantité croissante vers l'aval pour y former des spectres dimensionnels différents et distinctifs. Ces particules très petites ne se déposent sans doute pas telles quelles au fond du Chenal, puisque, comme le montre Kranck (1979), la nappe glaciaire n'en contient déjà presque plus et la nappe profonde contient, de 230 mètres de profondeur jusqu'au fond, une couche néphéloïde de particules remises en suspension depuis le fond et transportées vers l'amont par le courant résiduel très lent qu'on y détecte (Sinclair et al., 1976). Un mécanisme de couplage pélagos-benthos proposé par Brunel et al. (1975) pour l'Estuaire maritime (stn 487) fournit un modèle du type d'in-

fluence qu'il faudrait étudier entre l'île du Bic et la zone d'affleurement.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à des subventions du Conseil national de recherches du Canada au second auteur, et de la fondation Donner du Canada, du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec au GIROQ (Groupe interuniversitaire de Recherches océanographiques du Québec). Nous remercions aussi le Dr Ginette Robert et le Dr J.W. Wacasey, du Service canadien des pêches et des océans, la première pour les analyses granulométriques et le second pour plusieurs vérifications de nos identifications. Messieurs Michel Besner et Richard Tanguay ont préparé des programmes d'ordinatrice, et le Dr Pierre Legendre, de l'Université du Québec à Montréal, a bien voulu traiter nos données à l'aide de son programme GRAPHC. Merci enfin à tous les assistants et techniciennes, parents et amis sans qui l'analyse de ce matériel difficile n'aurait pas été possible.

Références

- ARWIDSSON, I., 1907. Studien über die skandinavischen und arktischen Maldaniden nebst Zusammenstellung der übrigen bisher benannten Arten dieser Familie. — Zool. Jb., 9 (Suppl.), 308 p.
- BELLAN, G., 1962. Note préliminaire sur la microfaune annélidienne de quelques peuplements marins de la baie de Marseille. — Recl Trav. Stn mar. Endoume, 25(39): 5-22.
- BELLAN, G., 1977. Contribution à l'étude des Annélides Polychètes de la province du Québec (Canada). 1 — Les facteurs du milieu et leur influence. — Téthys, 7(4): 365-373.
- BRAY, J. R. and J. T. CURTIS, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. — Ecol. Monogr., 27(4): 325-349.
- BRUNEL, P., 1970a. Les grandes divisions du Saint-Laurent: 3^e commentaire. — Revue Géogr. Montréal, 24(3): 291-294.
- BRUNEL, P., 1970b. Catalogue d'Invertébrés benthiques du golfe Saint-Laurent recueillis par la Station de Biologie marine de Grande-Rivière, 1951-66. — Trav. Pêch. Québec, (32): 1-55.
- BRUNEL, P., 1970c. Aperçu sur les peuplements d'Invertébrés marins des fonds meubles de la baie de Gaspé, 1956-60. — Naturaliste can., 97(6): 679-710.
- BRUNEL, P., D. MESSIER and D. GRANGER, 1975. Possible control by the seasonal regime of primary production of the dominance structure in shelf hyperbenthic communities of the Gulf of St. Lawrence. — Am. Soc. Limnol.

- Oceanogr., Program Ann. Meet., 38: 18 (résumé seulement).
- CAREY, A. G., R. E. RUFF, J. G. CASTILLO and J. J. DICKINSON, 1974. Benthic ecology of the western Beaufort Sea continental margin: preliminary results, p. 665-680. *In*: J. C. Reed and J.E. Sater (ed.), *The coast and shelf of the Beaufort Sea*. — Arct. Inst. North Amer., Arlington, VA.
- CÔTÉ, R., 1972. Influence d'un mélange intensif de différents types d'eau sur la distribution spatiale et temporelle du zooplancton de l'estuaire du Saint-Laurent. — Thèse de maîtrise, Univ. Laval, 251 p.
- CURTIS, M. A., 1975. The marine benthos of arctic and sub-arctic continental shelves. — *Polar Rec.*, 17(111): 595-626.
- CURTIS, M. A., 1977. Life cycles and population dynamics of marine benthic polychaetes from the Disko Bay area of West Greenland. — *Ophelia*, 16(1): 9-58.
- DAY, J. H., 1964. A review of the family Ampharetidae (Polychaeta). — *Ann. S. Afr. Mus.*, 48(4): 97-120.
- DAY, J. H., 1967. A monograph of the Polychaeta of Southern Africa. — *Br. Mus.*, Londres, 878 p.
- DAY, J. H., J. G. FIELD and M. P. MONTGOMERY, 1971. The use of numerical methods to determine the distribution of the benthic fauna across the continental shelf of North Carolina. — *J. Anim. Ecol.*, 40(1): 93-126.
- DICKINSON, J. J. and A. G. CAREY, 1975. A comparison of two benthic infaunal samplers. — *Limnol. Oceanogr.*, 20(5): 900-902.
- EL-SABH, M. I., 1979. The Lower St. Lawrence Estuary as a physical oceanographic system. — *Naturaliste can.*, 106(1): 55-73.
- FAUVEL, P., 1923. *Polychètes Errantes*. — Faune Fr., 5: 1-488. Lechevalier, Paris.
- FAUVEL, P., 1927. *Polychètes Sédentaires*. Faune Fr., 16: 1-494. Lechevalier, Paris.
- FORRESTER, W. D., 1974. Internal tides in St. Lawrence Estuary. — *J. mar. Res.*, 32(1): 55-66.
- GAGE, J. D., 1975. A comparison of the deep-sea epibenthic sledge and anchor-box dredge samplers with the Van Veen grab and hand coring by diver. — *Deep-Sea Res.*, 22: 693-702.
- GAUDRY, R., 1938. Les températures de l'estuaire du St-Laurent. — *Contr. Stn. biol. St-Laurent*, n° 13. Univ. Laval, Québec, 14 p.
- GOWER, J. C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. — *Biometrika*, 53(3-4): 325-338.
- GRAY, J. S., 1974. Animal-sediment relationships. — *Oceanogr. mar. Biol., A. Rev.*, 12: 223-361.
- HACHEY, H. B., L. LAUZIER and W. B. BAILEY, 1956. Oceanographic features of submarine topography. — *Trans. R. Soc. Can.*, (III), 50: 67-81.
- HOLME, N. A. and A. D. McINTYRE (ed.), 1971. *Methods for the study of marine benthos*. — *Int. biol. Progr. Handbook*, n° 16. Blackwell, Oxford, 334 p.
- HUNT, O. D., 1925. The food of the bottom fauna of the Plymouth fishing grounds. — *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 13(3): 560-599.
- INGRAM, R. G., 1975. Influence of tidal-induced vertical mixing on primary productivity in the St. Lawrence Estuary. — *Mém. Soc. R. Sci. Liège*, (6) 7: 59-74.
- INGRAM, R. G., 1979. Water mass modification in the St. Lawrence Estuary. — *Naturaliste can.*, 106(1): 45-54.
- JACQUOTTE, R., 1962. Étude des fonds de maërl de Méditerranée. — *Recl Trav. Stn. mar. Endoume*, 26(41): 141-235.
- JUMARS, P. A. and R. R. HESSLER, 1976. Hadal community structure: implications from the Aleutian Trench. — *J. mar. Res.*, 34(4): 547-560.
- JUMARS, P. A. and K. FAUCHALD, 1977. Between-community contrasts in successful polychaete feeding strategies. *In*: B.C. Coull (ed.), *Ecology of marine benthos*. — *Baruch Libr. mar. Sci.*, 6: 1-20.
- KINDLE, E. M. and E. J. WHITTAKER, 1918. Bathymetric check-list of the marine invertebrates of eastern Canada, with an index to Whiteaves' Catalogue. — *Contr. Can. Biol.* 1917-18(14): 229-294.
- KRANCK, K., 1979. Dynamics and distribution of particulate matter in the St. Lawrence Estuary. — *Naturaliste can.*, 106(1): 163-173.
- KRUMBEIN, W. C. and F. J. PETITJOHN, 1938. *Manual of sedimentary petrography*. Appleton-Century-Crofts, New York, 549 p.
- LAUZIER, L. M., 1958. Some aspects of oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence from autumn 1956 to spring 1957. — *Fish. Res. Bd Can.*, Manusc. Rep. (Oceanogr. Limnol.), N° 9. 17 p.
- LAUZIER, L. M. and R. W. TRITES, 1958. The deep waters in the Laurentian Channel. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 15(6): 1247-1257.
- LEGENDRE, L. et P. LEGENDRE, 1979. *Ecologie numérique*. Masson, Paris, Tome 2.
- LEGENDRE, P. and D. J. ROGERS, 1972. Characters and clustering in taxonomy: a synthesis of two taximetric procedures. — *Taxon*, 21(5/6): 567-606.
- LORING, D. H. and D. J. G. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.* (182): 1-147.
- MASSAD, R., 1975. Distribution et diversité endobenthiques des Polychètes dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. — Thèse de maîtrise, Univ. Montréal, 101 p.
- MORGANS, J. F. C., 1956. Notes on the analysis of shallow-water soft substrata. — *J. anim. Ecol.*, 25(2): 367-387.

- MOTYKA, J., B. DOBRZANSKI et S. ZAWADZKI, 1950. Wstępne badania nad lagami południowo-wschodniej Lubelszczyzny (Études préliminaires sur des prairies du sud-est de la province de Lublin). — *Ann. Univ. Mariae Curie-Sklodowska, (E: Agricultura)*, 5(13): 367-447.
- NESIS, K. N., 1965. Biotsenozy i biomassa bentosa Niufaundlandsko-Labradorskogo raiona (Biocenoses and biomass of benthos in the Newfoundland-Labrador region). — *Trudy vses. nauchno-issled. Inst. morsk. ryb. Khoz. Okeanogr., (VNIRO)*, 57: 453-489. *Moscou (Fish. Res. Bd Can., Transl. Ser., (1375), 1970)*.
- NICHOLS, F. H., 1970. Benthic polychaete assemblages and their relationship to the sediment in Port Madison, Washington. — *Mar. Biol.*, 6: 48-57.
- O'CONNOR, J. S., 1972. The benthic macrofauna of Morishes Bay, New York. — *Biol. Bull.*, 142(1): 84-102.
- PEER, D. L., 1963. A preliminary study of the composition of benthic communities in the Gulf of St. Lawrence. — *Fish. Res. Bd Can., Manuscr. Rep. (Oceanogr. Limnol.)*, (145): 1-24.
- PETTIBONE, M. H., 1963. Marine polychaete worms of the New England region. I. Aphroditidae through Trochochaetidae. — *Bull. U.S. natn. Mus.*, (227): 1-356.
- PIELOU, E. C., 1975. *Ecological diversity*. John Wiley & Sons, New York, 165 p.
- POCKLINGTON, R. and J. D. LEONARD, 1978. Terrigenous organic matter in sediments of the St. Lawrence Estuary. *Symposium sur l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent, Univ. du Québec à Rimouski, avril 1978 (résumé seulement)*.
- PREFONTAINE, G. et P. BRUNEL, 1962. Liste d'Invertébrés marins recueillis dans l'estuaire du Saint-Laurent de 1929 à 1934. — *Naturaliste can.*, 89(8-9): 237-263.
- REX, M. A., 1976. Biological accomodation in the deep-sea benthos: comparative evidence on the importance of predation and productivity. — *Deep-Sea Res.*, 23(10): 975-987.
- RHOADS, D. C., 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. — *Oceanogr. mar. Biol., A. Rev.*, 12: 263-300.
- RIEDL, R., 1961. Études des fonds vaseux de l'Adriatique. — *Méthodes et résultats*. — *Recl Trav. Stn mar. Endoume*, 23(37): 161-169.
- ROBERT, G., 1974. The sublittoral Mollusca of the St. Lawrence Estuary, east coast of Canada. — *Thèse de doctorat, Univ. Dalhousie, Halifax*, 178 p.
- ROBERT, G., 1979. Benthic molluscan fauna of the St. Lawrence Estuary and its ecology as assessed by numerical methods. — *Naturaliste can.*, 106(1): 211-227.
- ROWE, G. T., 1971. Benthic biomass and surface productivity, p. 441-454. *In: J. D. Costlow (ed.)*, *Fertility of the sea*, Vol. 2. Gordon & Breach, New York.
- SANDERS, H. L., 1956. Oceanography of Long Island Sound, 1952-1954. X. The biology of marine bottom communities. — *Bull. Bingham oceanogr. Coll.*, 15: 345-414.
- SANDERS, H. L., 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. — *Limnol. Oceanogr.*, 3(3): 245-258.
- SANDERS, H. L., 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. — *Am. Nat.*, 102(925): 243-282.
- SANDERS, H. L., E. M. GOUDSMIT, E. L. MILLS and G. E. HAMPSON, 1962. A study of the intertidal fauna of Barnstable Harbor, Massachusetts. — *Limnol. Oceanogr.*, 7(1): 63-79.
- SANDERS, H. L., R. R. HESSLER and G. R. HAMPSON, 1965. An introduction to the study of deep-sea benthic faunal assemblages along the Gay Head — Bermuda transect. — *Deep-Sea Res.*, 12(6): 845-867.
- SINCLAIR, M., 1978. Summer phytoplankton variability in the Lower St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35(9): 1171-1185.
- SINCLAIR, M., M. I. EL-SABH and J.-R. BRINDLE, 1976. Seaward nutrient transport in the Lower St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33(6): 1271-1277.
- SMITH, W. and J. F. GRASSLE, 1977. Sampling properties of a family of diversity measures. — *Biometrics*, 33(2): 283-292.
- SPENCE, C. and D. M. STEVEN, 1974. Seasonal variation of the chlorophyll a: pheopigment ratio in the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31(7): 1263-1268.
- STEVEN, D. M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. *McGill Univ., Mar. Sci. Centre, Manuscr. Rep.*, N° 26, 116 p.
- THERIAULT, J.-C. and G. LACROIX, 1976. Nutrients, chlorophyll, and internal tides in the St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33(12): 2747-2757.
- TREMBLAY, J.-L. et L. M. LAUZIER, 1940. L'origine de la nappe d'eau froide dans l'estuaire du Saint-Laurent. — *Naturaliste can.*, 67: 5-23.
- TRITES, R. W., 1972. The Gulf of St. Lawrence from a pollution viewpoint, p. 59-72. *In: M. Ruivo (ed.)*, *Marine pollution and sea life*. Fishing News (Books) Ltd., Londres.
- USHAKOV, P. V., 1955. *Mnogochetkinovye tchervi dal'nevostotchnykh morei SSSR (Polychaeta of the far-eastern seas of the USSR)*. *Opredel. Faune SSSR*, 56: 1-445. *Israel Progr. Sci. Transl.*, Jerusalem, 1965, 419 p.
- WIGLEY, R. L. and A. D. McINTYRE, 1964. Some quantitative comparisons of offshore meiobenthos and macrobenthos south of Martha's Vineyard. — *Limnol. Oceanogr.*, 9(4): 485-493.

LA PÊCHE DU HARENG DE GASPÉ

S.N. MESSIEH

Pêches et Océans Canada, Station biologique, St. Andrews, Nouveau-Brunswick.

G. CÔTÉ ET J. BOULVA

Pêches et Océans Canada, Division des Sciences halieutiques, C.P. 15500, Québec, G1K 7Y7

Résumé

L'examen de caractères biologiques du hareng de Gaspésie a montré que la pêche exploite un regroupement de plusieurs populations de hareng. Ces populations diffèrent par leurs structures d'âge et de longueur, leur croissance, leur développement sexuel, leur période de frai et leur fécondité. Des populations locales de hareng habitent les baies le long de la côte gaspésienne et sont exploitées par la pêche côtière régionale. Cependant, le gros de la pêche se fait sur les bancs situés au large de la Gaspésie. Cette région est une zone importante pour l'alimentation du hareng provenant du sud du golfe Saint-Laurent et même du sud-ouest de Terre-Neuve. On discute du rôle de cette zone hautement productive de la péninsule de Gaspé dans l'alimentation du hareng en migration.

Abstract

Examination of the biological characteristics of herring caught in the Gaspé area showed that the fishery is based on aggregations of different herring populations. These populations differed in length and age composition, growth, maturation, spawning time and fecundity. Local herring populations inhabit the bays along the Gaspé coast, and provide local inshore fisheries. However, the major fishery is concentrated on the banks off the Gaspé. These areas provide major feeding grounds for herring migrating from the southern Gulf of St. Lawrence and as far as southwest Newfoundland. The importance of the highly productive area of the Gaspé Peninsula in herring feeding migration is discussed.

Introduction

Depuis le début du siècle, la pêche du hareng (*Clupea harengus harengus* L.) se pratique de façon intensive dans l'estuaire et le golfe Saint-Laurent. Traditionnellement, la pêche était effectuée le long des côtes, sur les aires de frai au moyen de trappes et de filets maillants. En 1966, l'arrivée d'une flotte de seineurs dans le golfe Saint-Laurent eut pour conséquence d'augmenter considérablement les prises annuelles de ce poisson et de bouleverser aussi les périodes habituelles de la pêche: les seineurs pouvaient exploiter dorénavant les bancs de poissons se nourrissant et se reproduisant plus au large des côtes.

La distribution saisonnière de l'effort de pêche des seineurs suit généralement la migration du hareng. En hiver, les seineurs pêchent au sud-ouest de Terre-Neuve. Au début du printemps, la flotte se déplace vers l'ouest, le long du chenal Laurentien et dans

les environs des îles de la Madeleine. Au cours de l'été, elle exploite les poissons qui se retrouvent sur leurs aires d'alimentation, soit sur le banc des Américains, le banc des Orphelins ainsi que dans la région de Gaspé. Au début de l'automne, l'effort de pêche des seineurs se déplace vers la baie des Chaleurs, où l'on retrouve des concentrations élevées de hareng en période de reproduction. Finalement, tard à l'automne, la flotte revient vers le chenal Laurentien, pour capturer les poissons qui s'en retournent hiverner au sud-ouest de Terre-Neuve.

Depuis 1966, les déplacements de la flotte des seineurs sont assez constants. Cependant, depuis 1972, il y a eu un changement dans la distribution de l'effort de pêche.

La pêche a quasiment disparu au sud de Terre-Neuve, tandis que l'effort de pêche a augmenté considérablement le long du chenal Laurentien, au début du printemps, et en Gaspésie, durant l'été. Dans cette dernière région, l'effort de pêche s'est accru

en temps et en espace, couvrant la majorité de la péninsule gaspésienne jusque tard à l'automne, alors que les poissons ne se concentrent plus en bancs.

Dans cet article, nous présenterons des données sur les débarquements de hareng dans l'estuaire du Saint-Laurent et en Gaspésie. Nous parlerons aussi des changements qui ont eu lieu récemment dans la pêche du hareng relativement à l'exploitation et nous discuterons des caractères biologiques des populations de hareng de cette région.

Matériel et méthodes

Cette étude couvre les districts de pêche de 2 à 15 de la péninsule gaspésienne et de l'estuaire du Saint-Laurent (fig. 1), ainsi que la pêche effectuée au large de Gaspé Sud (région 438). Les statistiques de pêche nous proviennent des organismes suivants: le Bureau fédéral de la statistique, connu aujourd'hui sous le nom de Statistiques Canada; le «International Commission for the North West Atlantic Fisheries» (ICNAF); le Bureau de la statistique du Québec (BSQ). Les données obtenues de ces organismes ne concordent pas toujours parfaitement, mais les différences sont faibles, et ne devraient pas affecter l'analyse des tendances de la pêche.

Deux mesures d'effort de pêche furent utilisées. La première consistait à évaluer le nombre de pêcheurs actifs. Pour la pêche côtière, cette valeur fut déterminée par le nombre de permis émis. Pour la pêche effectuée par la flotte mobile de seineurs, nous avons compté le nombre de personnes formant chaque équipage et avons considéré cette valeur comme étant le nombre de pêcheurs actifs. La deuxième mesure d'effort de pêche ne vaut que pour les seineurs. À l'aide des carnets de bord, nous avons tenté d'estimer le nombre de jours d'exploitation active en tenant compte du temps qu'il faut pour chercher le poisson, le capturer, etc...; nous avons exclu de cette mesure le temps perdu à cause de défauts mécaniques ou encore en raison du mauvais temps.

Toutes les données de température recueillies au cours des croisières de recherches depuis 1967, ont été analysées au moyen du «Conmap Computer Program» offert par le «Marine Environmental Data Service (MEDS)» (Taylor, 1977).

Des données de longueur et d'âge des poissons furent recueillies depuis 1967. La longueur fut mesurée à partir de l'extrémité du museau jusqu'à la nageoire caudale la plus éloignée et ramenée au millimètre le plus près. Le poids total fut calculé au gramme près. Une courbe exponentielle fut

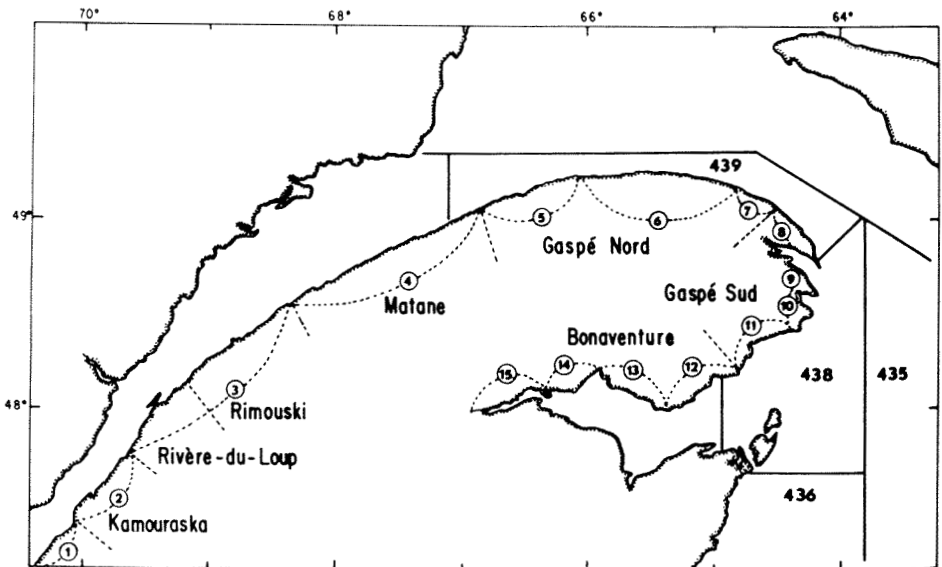


Figure 1. Carte de l'estuaire du Saint-Laurent, de la région de Gaspé, et de la baie des Chaleurs, montrant les districts de pêche et les régions statistiques mentionnés dans le texte.

ajustée aux données de longueur-poids par la méthode des moindres carrés.

Les âges furent déterminés à partir des otolithes selon la convention établie par l'«ICNAF Ageing Workshop» (Hunt et al., 1973). Selon cette convention, un poisson a 1 an le 1er janvier suivant l'éclosion, qu'elle ait eu lieu au printemps ou à l'automne. Pour les estimations de croissance, seuls les échantillons récoltés au mois de mai, pour le hareng se reproduisant au printemps, dit «hareng de printemps», et au mois d'août, pour le hareng se reproduisant à l'automne, dit «hareng d'automne», furent considérés. Ceci nous permettait d'analyser des poissons ayant complété leur année de croissance. La méthode de Allen (1966) a été utilisée pour ajuster des courbes de croissance du type von Bertalanffy aux données de longueur-âge. Aucune différence ayant été observée entre les données sur la croissance des deux sexes, celles-ci furent regroupées.

Nous avons déterminé le stade de maturité de chaque poisson selon l'échelle adoptée par l'«ICNAF» (Anon., 1964). En 1977, des échantillons de hareng de printemps et de hareng d'automne ont été recueillis dans l'estuaire du Saint-Laurent et en Gaspésie en vue de déterminer les taux de fécondité, selon la méthode décrite par Messieh (1976) pour le hareng du sud du golfe Saint-Laurent.

De 1969 à 1973, nous avons effectué, à partir de radiographies obtenues par rayons-X, le dénombrement des caractères méristiques suivants sur le hareng de la région de Gaspé: nombre de rayons de la nageoire dorsale, nombre de rayons de la pectorale gauche et le nombre de vertèbres excluant le basioccipital et l'hypural. Lors des décomptes des rayons de la nageoire dorsale, nous avons exclu le premier rayon lorsque celui-ci n'était pas bien développé, afin de pouvoir comparer nos résultats à ceux qui ne sont pas basés sur des comptages à partir de rayons-X.

Résultats

CONDITIONS HYDROGRAPHIQUES

Une forte productivité des eaux situées au large de la Gaspésie, est suggérée par les variations de température en surface depuis 1967 (fig. 2); les isothermes, tracés à partir des distributions mensuelles de ces températures révèlent l'emplacement d'eaux

plus froides indiquant la présence de tourbillons cycloniques. Ceux-ci sont généralement associés à une productivité primaire plus élevée causée par une remontée d'eaux profondes riche en éléments nutritifs (El-Sabh, 1976). Les isothermes encerclant des eaux chaudes indiquent un tourbillon anticyclonique.

Cette forte productivité expliquerait la présence dans cette région, de harengs qui s'alimentent intensivement (Côté, données non publiées) et qui sont alors l'objet d'une exploitation importante.

LA PÊCHE

Les débarquements

La quantité de poissons capturés à l'aide d'engins fixes est demeurée relativement constante dans le sud du golfe Saint-Laurent, jusqu'au milieu des années cinquante (fig. 3). Cependant, à compter de 1955 les captures ont diminué, passant de 40 000 tm à 18 000 tm, en 1961. En 1965, la pêche s'était reconstituée, mais un deuxième déclin s'est amorcé, et en 1975 les prises n'étaient plus que de 12 000 tm. Notons toutefois qu'à ce second déclin correspond une augmentation des débarquements de la flotte mobile des seineurs. Par exemple, en 1970, les débarquements de cette flotte se chiffraient à 175 000 tm, soit six fois plus que la moyenne de ceux de la pêche côtière depuis 1950 (fig. 3).

Pour la Gaspésie et l'estuaire du Saint-Laurent, les fluctuations des prises de hareng sont semblables à celles du sud du golfe Saint-Laurent (tableau I). Les prises dans notre zone d'étude ont oscillé entre 7 141 tm en 1949 et 4 244 tm en 1955 pour une moyenne de 5 327 tm. En 1956, les débarquements ont fait une chute brusque atteignant 2 576 tm, puis ils ont continué de baisser et en 1960, ils n'étaient que de 1 997 tm. En 1961, les débarquements ont augmenté à 4 329 tm pour ensuite diminuer jusque vers la fin des années soixante. Finalement, en 1970, ils augmentent considérablement (39 508 tm) en accord avec le début des opérations de la flotte mobile de seineurs dans cette région du golfe Saint-Laurent.

Les débarquements de hareng sont présentés en relation avec la saison et le district de pêche (fig. 4). La pêche printanière comprend les débarquements des mois d'avril, mai et juin et la pêche automnale

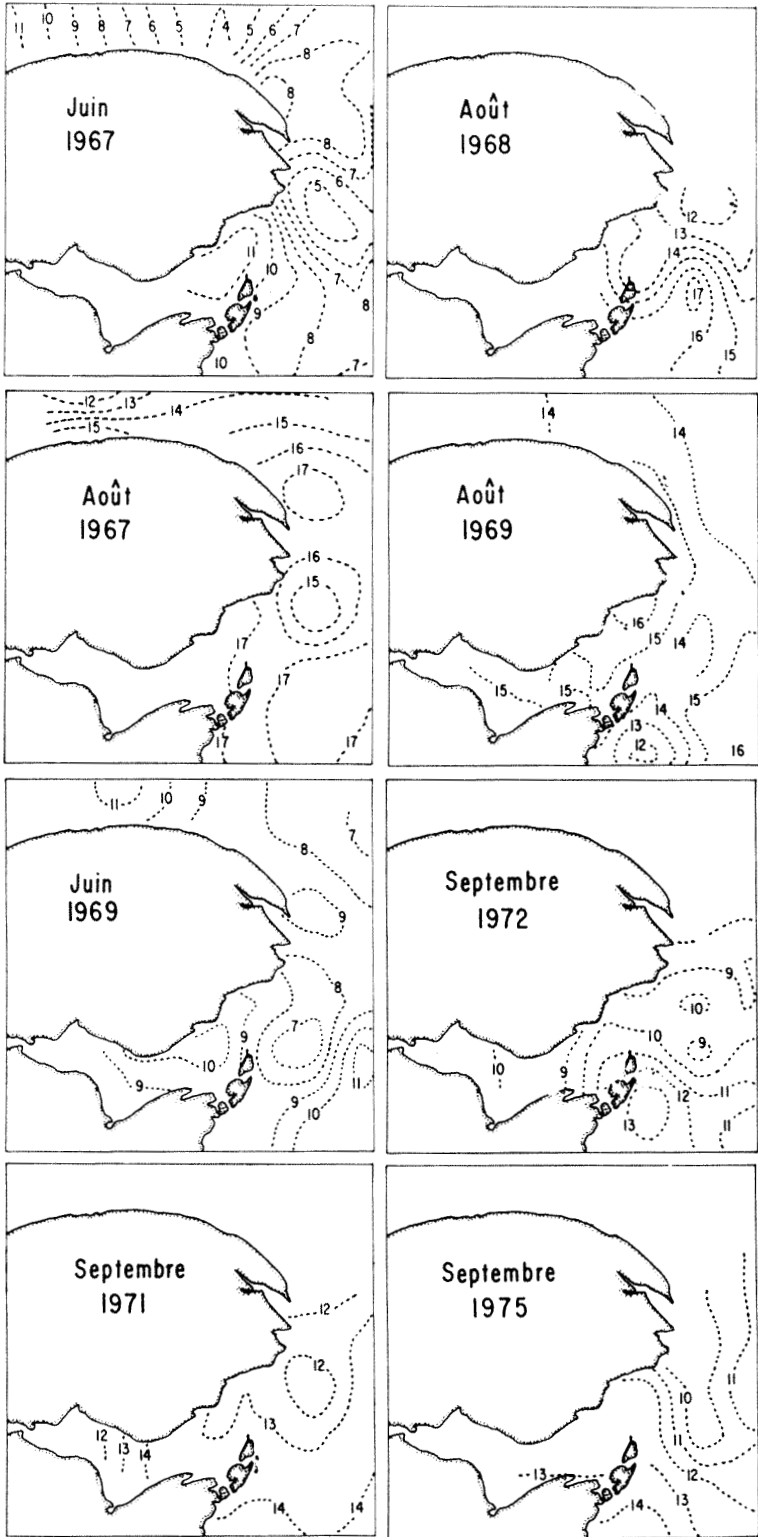


Figure 2. Distribution mensuelle des isothermes de surface de 1967 à 1975.

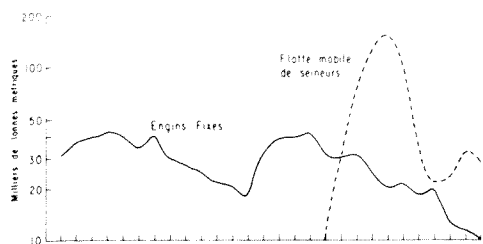


Figure 3. Débarquements de hareng ('000 tm) pour le sud du golfe Saint-Laurent (division 4T "ICNAF") selon les engins de pêche utilisés, de 1949 à 1976.

TABLEAU I

Débarquements de hareng (tm) pour le sud du golfe Saint-Laurent (Div. 4T, "ICNAF") ainsi que pour les districts de pêche 2-15 de l'estuaire du Saint-Laurent et de la péninsule gaspésienne.

Année	Districts 2-15	Div. 4 T
1949	7 141	31 938
1950	5 842	37 660
1951	4 336	40 136
1952	4 388	42 940
1953	6 865	39 775
1954	4 470	34 960
1955	4 244	42 871
1956	2 576	30 038
1957	2 340	27 643
1958	2 268	24 705
1959	1 961	22 350
1960	1 997	21 711
1961	4 329	18 823
1962	2 529	34 442
1963	2 640	39 874
1964	2 550	39 333
1965	2 491	44 254
1966	1 949	36 941
1967	1 978	62 636
1968	1 763	111 998
1969	1 887	154 606
1970	39 508	174 632
1971	33 171	131 962
1972	27 511	53 528
1973	8 709	40 321
1974	4 456	35 153
1975	6 180	44 565

Dans cette dernière région qui est la seule où les seigneurs poursuivaient encore leur exploitation récemment, on a remarqué une augmentation des prises à l'automne de 150 tm en 1968 jusqu'à 10 000 tm en 1969, puis à un maximum de 25 000 tm en 1971. Par la suite, une baisse importante s'est produite et en 1975, les débarquements de hareng se chiffraient à 5 000 tm.

Dans toute la région d'étude, seulement deux districts (districts 2-3) signalent des débarquements commerciaux de jeune hareng nommé sardine par les pêcheurs, tandis que des prises de faible importance de sardine sont signalées occasionnellement à Matane (district 4). Les débarquements de cette catégorie de hareng sont inscrits seulement depuis 1962 (tableau II). Les débarquements annuels de sardine et de hareng ont subi des variations d'année en année, mais l'allure de ces variations n'est pas semblable dans les deux cas. Les prises de hareng sont passées de 500 tm en 1962 à 160 tm en 1975 avec une moyenne de 341 tm tandis que celles des sardines étaient de 160 tm en 1962 et ont diminué jusqu'à 29 tm en 1966; elles ont par la suite augmenté, pour atteindre 85 tm en 1974.

Nous constatons que pour les régions de Rivière-du-Loup/Rimouski et Kamouraska, nous obtenons une distribution saisonnière assez particulière pour les prises mensuelles de hareng et de sardine (tableau II). Les prises de hareng atteignent un maximum aux mois de mai et de juin et diminuent par la suite. Pour certaines années (1963, 1964, 1966 et 1967) un deuxième pic de débarquements se produit en août, quoique celui-ci soit très faible comparativement à celui du printemps. Le patron de débarquement des sardines suit une allure différente. Les prises de sardine ont lieu tout au long de l'été avec un pic d'abondance en juin, sauf en 1962, où le pic a été noté en août (141,3 tm).

Les prises par unité d'effort (P.U.E.)

L'effort de pêche est calculé à partir du nombre de pêcheurs de hareng durant la saison complète de pêche. Jusqu'en 1968, tout l'effort de pêche ne consistait qu'en une pêche côtière à partir d'engins fixes.

Les prises par unité d'effort (P.U.E.) ont été exprimées en tonnes métriques de poissons pêchés par pêcheur par année (tm/homme/année) pour la période de 1954 à

ceux des mois de juillet, août et septembre. La région de Kamouraska (district 2) accuse les débarquements les plus bas, suivi de ceux de Gaspé-Nord (districts 5-7), de Matane (district 4) et de Rivière-du-Loup/Rimouski (district 3). Les plus importantes prises ont été enregistrées à Bonaventure (districts 12-15) et Gaspé-Sud (districts 8-11).

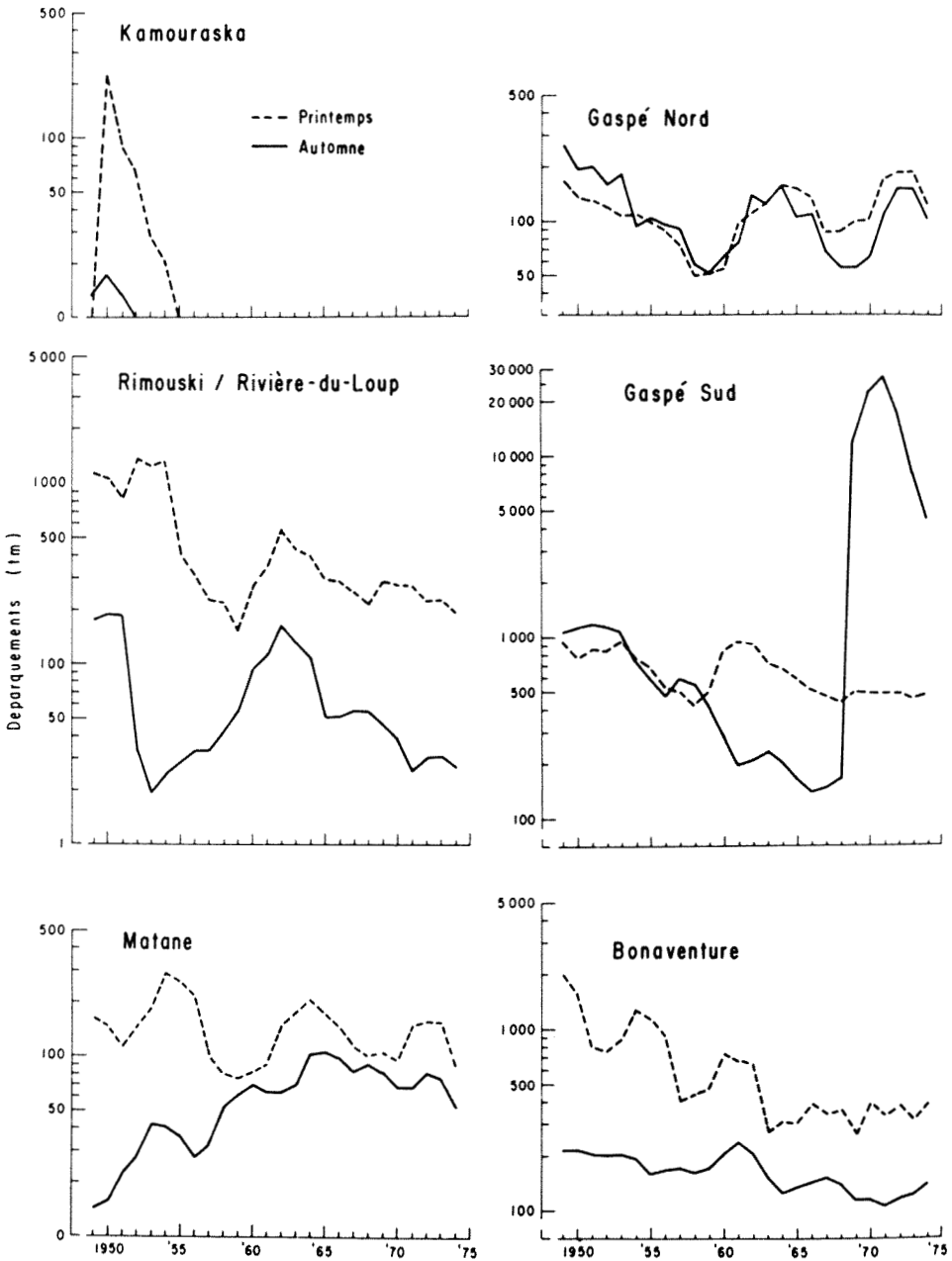


Figure 4. Débarquements de hareng (tm) au printemps et à l'automne dans les diverses régions étudiées, moyennes mobiles sur 3 ans.

1975 (fig. 5). Ces données ont été lissées à partir de moyennes mobiles sur trois ans.

Durant la période de 1954-1969, nous remarquons une légère baisse des P.U.E. avec une moyenne de 3,5 tm/homme/année. Avec l'avènement de la flotte mobile de

seineurs en 1970, les P.U.E. augmentent subitement à 50 tm/homme/année. Ces valeurs illustrent l'efficacité relative de la pêche à la seine et de celle aux engins fixes.

Nous avons calculé les P.U.E. mensuelles des seineurs pêchant en Gaspésie et sur

TABLEAU II
Débarquements de hareng et de sardine (tm) pour la région de Kamouraska et
Rivière-du-Loup/Rimouski (Districts 2-3) de 1962 à 1975.

Année		Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Débarquements annuels (a)
1962	Hareng	321,4	83,3	75,8	35,4	8,6	2,7	517,3
	Sardines				141,3	17,1	3,5	162,0
1963	Hareng	665,4	11,5	98,8	137,0	4,5	1,6	923,2
	Sardines	3,5	35,6	12,7	9,6	4,5	1,3	67,2
1964	Hareng	119,2	98,4	16,1	37,9	6,9	4,9	297,2
	Sardines	3,0	19,4	9,4	15,1	9,0	1,8	57,6
1965	Hareng	141,3	143,8	21,6	12,4	18,0	1,6	356,6
	Sardines	5,2	15,8	19,9	11,0	11,7	2,5	66,0
1966	Hareng	341,3	31,9	18,9	33,3	6,3	1,1	434,0
	Sardines	0,8	10,3	9,6	5,1	2,3	0,4	28,6
1967	Hareng	125,2	64,6	12,8	25,9	19,3	3,1	250,8
	Sardines		13,2	10,1	10,3	17,1	3,1	53,8
1968	Hareng	129,1	45,7	32,8	15,5	11,7	1,9	257,1
	Sardines				35,6	3,7	0,5	39,8
1969	Hareng	113,4	151,4	21,3	21,1	14,7	1,0	323,7
	Sardines	10,2	15,8	17,6	20,3	8,0	—	71,9
1970	Hareng	321,1	81,5	10,2	7,9	8,9	7,0	446,7
	Sardines	16,3	44,0	4,0	4,2	1,0	—	69,5
1971	Hareng	84,0	53,4	16,2	15,6	4,5	—	193,2
	Sardines	4,9	29,5	18,0	14,8	—	—	71,4
1972	Hareng	232,2	26,9	7,5	10,7	0,4	9,6	287,3
	Sardines	6,4	20,9	31,6	18,4	—	3,0	80,3
1973	Hareng	200,1	18,1	6,7	4,8	2,0	—	231,8
	Sardines	15,1	45,2	12,0	15,8	2,9	—	90,9
1974	Hareng	75,7	11,8	4,3	2,4	1,9	—	95,9
	Sardines	7,4	45,8	24,0	6,4	1,8	—	85,3
1975	Hareng	136,0	18,1	3,5	1,9	0,3	—	161,5
	Sardines	20,2	11,3	5,9	1,3	—	—	38,7

(a) Ceci inclut les mois qui ne sont pas présentés.

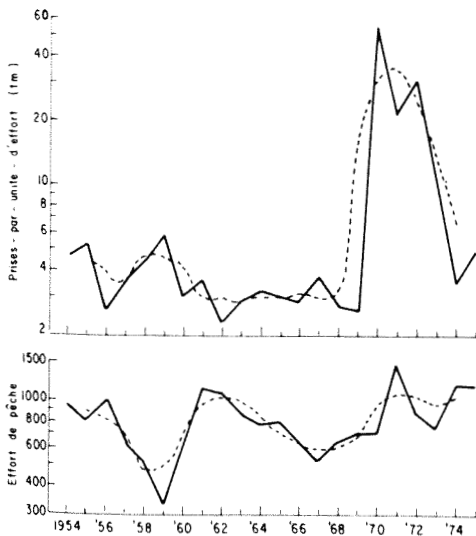


Figure 5. Effort de pêche (nombre de pêcheurs) et prises par unité d'effort (tm/homme/année) pour les districts de pêche de 2 à 15 entre 1954 et 1975. La ligne pointillée représente une moyenne mobile sur 3 ans.

le banc des Américains (région 438) ainsi que dans la baie des Chaleurs (région 437) pour la période de 1967 à 1975 (tableaux III, IV); ces P.U.E. sont exprimées en tonnes métriques de poissons pêchés par jour d'exploitation active (tm/ j. exp. act.). Pour plus de renseignements sur les P.U.E. de ces régions ainsi que sur celles pour le sud du golfe Saint-Laurent, il faut se référer à Messieh (1978). Dans la région de Gaspé, les P.U.E. suggèrent la présence de fortes concentrations de hareng généralement de juin à octobre; cette région constituerait l'aire d'alimentation des poissons qui s'y concentrent, (Côté, données non publiées).

Dans la baie des Chaleurs (tableau IV), le patron est presque semblable à l'exception d'un pic maximum aux mois d'avril et mai dû aux poissons qui se concentrent dans cette région au printemps pour y frayer.

CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DU HARENG

Suite à l'analyse des débarquements de hareng dans notre zone d'étude, il nous a

TABLEAU III

Effort (j. exp. act.) et prises par unité d'effort (tm/j. exp. act.) des seineurs de hareng pêchant dans la région de Gaspé et sur le banc des Américains (région 438) et ce. de façon mensuelle entre les années 1967 et 1975 (a)

Mois	1967		1968		1969		1970		1971		1972		1974		1975		P.U.E.	
	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	Moyenne	
Janvier	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Février	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mars	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Avril	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mai	—	—	10,5	37,2	—	—	4,9	9,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29,6
Juin	—	—	19,6	64,0	46,7	41,2	29,0	43,2	19,0	32,8	—	—	—	—	—	—	—	44,2
Juillet	—	—	96,6	95,6	68,8	97,8	104,8	86,4	45,8	54,7	24,4	106,8	—	—	—	—	—	88,5
Août	—	—	93,8	95,0	99,9	80,2	83,6	61,0	7,5	76,9	1,3	27,1	4,0	39,0	—	—	—	71,7
Septembre	6,0	49,9	77,3	93,5	54,0	84,9	47,0	77,4	8,0	46,5	1,0	0	6,0	39,7	5,0	37,8	—	81,0
Octobre	—	—	11,0	85,5	1,0	27,2	1,0	36,3	4,0	98,7	2,0	103,0	—	—	17,0	47,1	—	89,1
Novembre	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Décembre	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Effort	6,0		308,8		270,4		269,4		84,3		28,7		10,0		22,0			
P.U.E.		49,9		90,5		78,7		71,0		53,0		99,2		35,3		45,0		

(a) Les données de P.U.E. de 1973 ne sont pas disponibles.

TABLEAU IV

Effort (j. exp. act.) et prises par unité d'effort (tm/j. exp. act.) des seiners de hareng pêchant dans la baie des Chaleurs (région 437) et ce, de façon mensuelle entre les années 1967-1975. (a)

Mois	1967		1968		1969		1970		1971		1972		1974		1975		P.U.E.	
	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	E	P.U.E.	Moyenne	
Janvier	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Février	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mars	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Avril	—	—	—	—	—	—	1,0	190,4	1,0	22,7	—	—	—	—	—	—	—	106,6
Mai	—	—	8,5	44,3	—	—	4,0	13,4	2,0	43,1	—	—	—	—	—	—	—	35,6
Juin	8,3	18,7	12,7	16,3	6,0	16,1	9,5	27,2	10,9	1,0	—	—	—	—	—	—	—	15,4
Juillet	20,5	71,6	56,0	82,1	52,0	78,4	48,2	88,5	47,0	85,8	10,7	55,8	6,0	32,8	—	—	—	80,0
Août	3,0	55,9	31,0	70,2	29,4	83,0	65,0	64,8	34,5	48,4	14,7	23,4	11,0	43,6	14,0	32,0	—	58,9
Septembre	5,0	36,8	6,0	76,4	1,0	108,9	14,0	66,4	15,0	50,8	57,0	52,8	28,7	41,9	29,0	36,2	—	49,5
Octobre	—	—	1,0	77,2	—	—	35,0	83,5	—	—	16,0	80,0	14,0	34,5	53,0	51,9	—	63,1
Novembre	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	108,9	43,0	52,3	—	54,8
Décembre	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Effort	36,8	—	115,2	—	88,4	—	176,7	—	110,4	—	98,4	—	61,7	—	139	—	—	—
P.U.E.	—	53,7	—	68,5	—	76,0	—	72,6	—	59,6	—	53,6	—	41,8	—	46,7	—	—

(a) Les données de P.U.E. ne sont pas disponibles pour 1973

paru important d'analyser certains caractères biologiques du poisson qui est exploité dans le but d'établir si nous sommes en présence de plusieurs populations.

Longueur et âge

La composition en longueur et en âge d'échantillons de hareng recueillis dans la région de Gaspé entre 1967 et 1975 est illustrée sur la figure 6. À l'exception des années 1967 et 1968, durant lesquelles la classe d'âge de 1960 dominait la pêche, la distribution des fréquences de longueur présente de la polymodalité indiquant une absence de classe d'âge dominante.

Relation longueur-poids

Des relations longueur-poids ont été calculées pour du hareng de printemps et du hareng d'automne échantillonnés respectivement en 1969-71 et en 1970-73 (fig. 7). Pour s'assurer de l'homogénéité des échantillons étudiés, nous n'avons analysé que les données recueillies aux mois de mai et juin pour le hareng de printemps et au mois d'août pour le hareng d'automne, car c'est durant ces mois qu'on note un pourcentage maximal de poisson en état de frai.

La longueur du hareng de printemps varie de 23 à 35 cm avec une moyenne de 29 cm. Le poids varie de 104,0 g à 361,5 g avec une moyenne de 216,8 g. Pour ce qui est du hareng d'automne, la longueur des poissons varie de 24 à 37 cm avec une moyenne de 30,5 cm. Le poids moyen des poissons est de 251,6 g avec des extrêmes de 106,5 g et 411,2 g. La relation longueur-poids, établie par la méthode des moindres carrés, est pour le hareng de printemps

$$\ln W = -4,410 + 2,894 \ln L$$

et pour le hareng d'automne :

$$\ln W = -5,058 + 3,082 \ln L$$

ou W = poids (g) et L = longueur (cm).

Croissance

Des courbes de von Bertalanffy ont été ajustées à nos données longueur-âge (fig. 8). Les équations de ces courbes de croissance pour le hareng de printemps et d'automne sont respectivement :

$$L = 357(1 - e^{-0,21(t + 4,29)})$$

et

$$L = 369(1 - e^{-0,27(t + 2,70)})$$

ou L = la longueur du poisson (mm) à l'âge t .

La concordance des données de longueur-âge ainsi que les paramètres des courbes de croissance décrits par plusieurs auteurs (Messieh et Tibbo, 1971; Parsons et Hodder, 1975; Côté et Lamoureux, 1977) est assez bonne (tableau V). Cependant, on observe une différence plus marquée dans les longueurs aux âges 9 et 10, due à la difficulté de déterminer l'âge des plus vieux poissons.

Maturité et reproduction

Dans la région de Gaspé, en 1967 et 1968, le pourcentage de poisson au stade de maturité sexuelle 6, c'est-à-dire en période de reproduction, fut plus élevé dans les captures que durant la période de 1969 à 1973 (tableau VI).

Nous avons noté les semaines du calendrier durant lesquelles 50% ou plus de la population de poissons adultes est en état de frai (tableau VII). Les semaines sont numérotées de 1 à 52, 1 étant la première semaine du calendrier. Pour le hareng de printemps, la période durant laquelle 50% des poissons adultes se reproduisent varie de la 17^e à la 22^e semaine. Pour ce qui est du hareng d'automne, les semaines varient de la 32^e à la 37^e semaine. Des comparaisons entre la baie des Chaleurs et la région de Gaspé révèlent qu'il y a plus de hareng de printemps dans la première région et plus de hareng d'automne dans la seconde.

Fécondité

À partir des valeurs de fécondité pour le hareng frayant au printemps et à l'automne à différents endroits le long de la péninsule gaspésienne et de l'estuaire du Saint-Laurent (tableau VIII), on a obtenu des courbes (fig. 9) dont les équations calculées par régression linéaire sont respectivement pour le hareng de printemps et d'automne :

$$\ln F = -3,676 + 4,353 \ln L$$

et

$$\ln F = -2,631 + 4,162 \ln L$$

ou F = la fécondité (nombre d'œufs) et L = la longueur du poisson (cm).

Caractères méristiques

Des mesures sur différents caractères méristiques ont été recueillies. Les moyennes et écarts-types du nombre de rayons de la nageoire pectorale droite (P), de la dorsale (D), ainsi que du nombre de vertè-

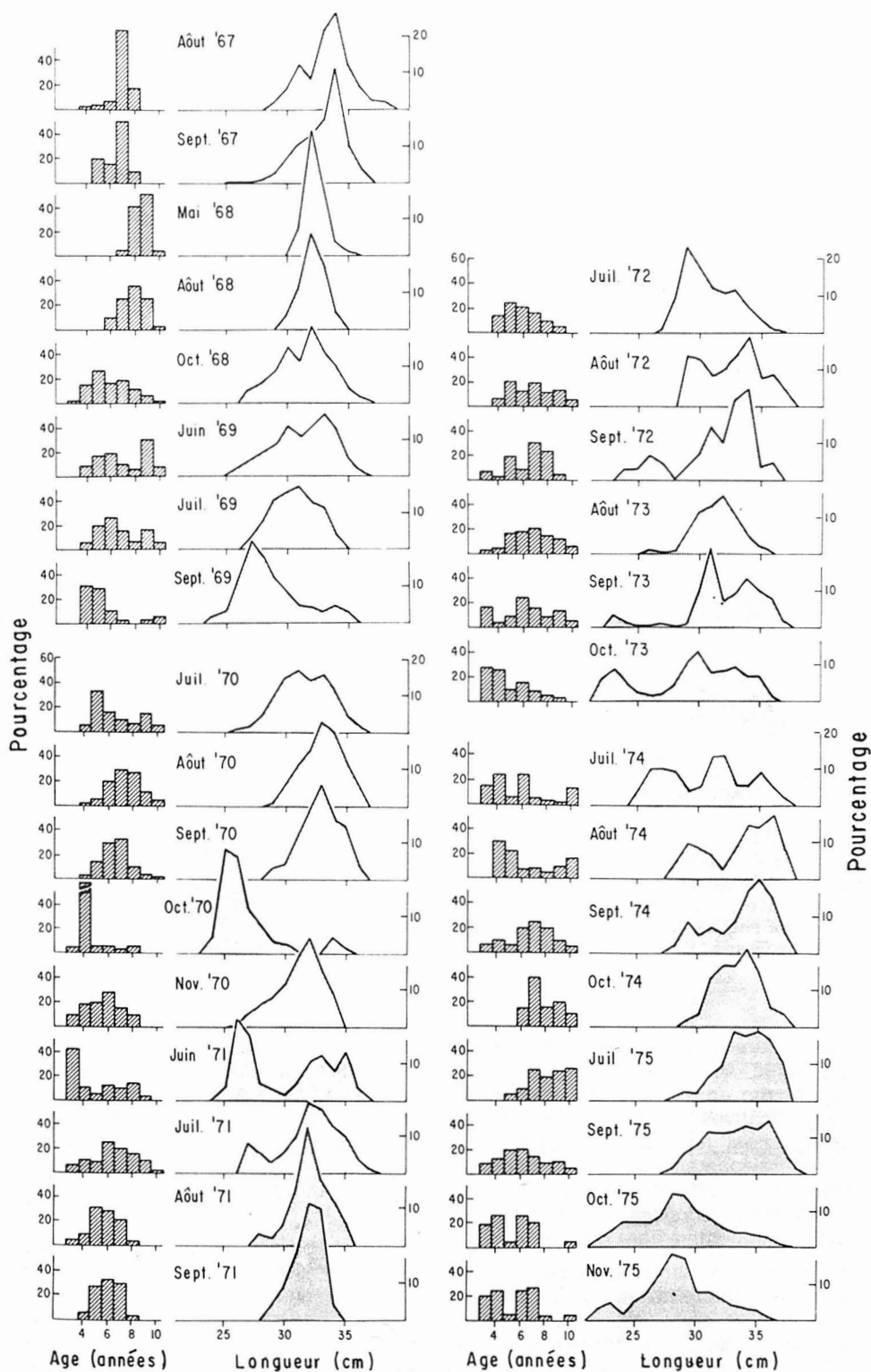


Figure 6. Structures d'âge et de longueur du hareng de la région de Gaspé de 1967 à 1975.

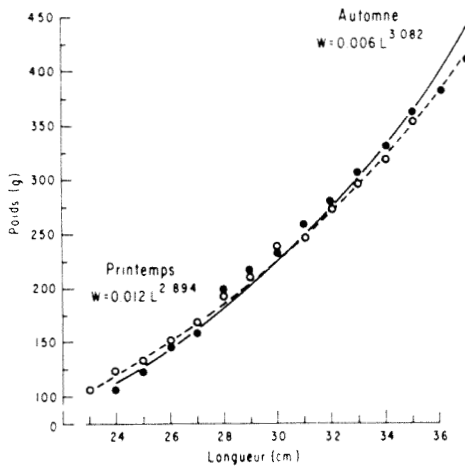


Figure 7. Courbes exponentielles ajustées aux données de longueur-poids du hareng de printemps et d'automne de la région de Gaspé.

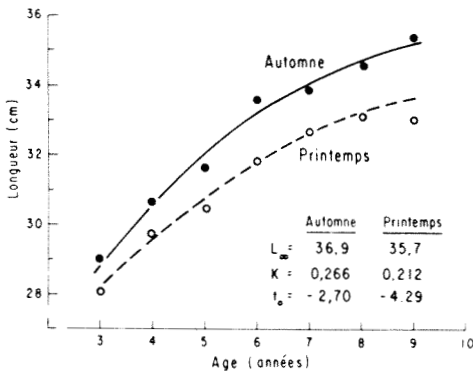


Figure 8. Courbes de croissance de von Bertalanffy ajustées aux données de longueur-âge pour le hareng de printemps et d'automne de la région de Gaspé.

bres (V) du hareng de la région de Gaspé sont présentés au tableau IX. Des tests du Z sur les moyennes indiquent des différences significatives parmi certains de ces échantillons. Pour les nageoires pectorales (P), 7 comparaisons sur 12 se sont révélées significativement différentes à $P < 0,01$ et pour les nageoires dorsales, 7 comparaisons sur 14 sont significativement différentes.

Pour évaluer la variance entre les moyennes pour les différents mois durant les cinq années d'observations, on a effectué des tests univariés. On a obtenu pour les pectorales (P), dorsales (D), et vertèbres (V) respectivement des valeurs du F de 0,55 (traitement dl.5; erreur dl.7), 0,47 (dl.5 et 8)

et 1,52 (dl.5 et 8). Ces valeurs ne sont toutefois pas significatives et indiquent une variation au hasard entre les mois.

Discussion

Les débarquements de hareng dans l'estuaire du Saint-Laurent et en Gaspésie ont subi depuis 1950 des variations importantes causées principalement par deux facteurs. La première fut une épizootie, qui, au milieu des années cinquante décima les populations de hareng de l'est du Canada (Sinderman 1958, Tibbo et Graham, 1963). La seconde fut l'apparition d'une flotte mobile de seineurs à la fin des années soixante qui eut pour conséquence d'améliorer l'efficacité de la pêche ce qui s'est traduit par une augmentation des débarquements. Un effet secondaire de la pêche par la flotte mobile de seineurs fut de produire une baisse dans les captures du poisson en état de frai; la pêche côtière traditionnelle exploitait surtout des poissons directement sur leurs frayères alors que les seineurs pêchent plus au large et récoltent surtout des poissons qui s'en vont frayer ou bien qui en reviennent.

Sur le plan biologique, contrairement au hareng du sud-ouest de Terre-Neuve et du sud du golfe Saint-Laurent qui a été l'objet de plusieurs études récentes (Messieh, 1976; Messieh et Tibbo, 1971; Parsons et Hodder, 1975) le hareng de l'estuaire et du nord du golfe Saint-Laurent n'a pas suscité autant d'intérêt. Parmi les travaux qui ont été effectués dans cette région, mentionnons ceux de Day (1957), Jean (1956, 1967) et plus récemment Côté et Lamoureux (1977). Day (1957) qui a étudié les variations des nombres de vertèbres et des taux de croissance ainsi que Côté et Lamoureux (1977) qui ont démontré de la polymodalité pour les fréquences de longueur de certaines classes d'âge, ont émis l'hypothèse selon laquelle il y aurait plus d'un stock de hareng de printemps exploité dans cette région.

Certains de nos résultats démontrent cette hétérogénéité du hareng exploité dans la région de Gaspé. Notons tout d'abord qu'aucun patron de distribution des longueurs et des âges des poissons pêchés n'a été observé au cours des années. Cependant, à l'automne nous remarquons souvent la présence de harengs plus petits, particulièrement pour les mois de septembre 1969, 1972 et 1973 et octobre 1968, 1970, 1973 et 1975 (fig. 6). Il fut très difficile de suivre

TABLEAU V

Comparaison des données de longueur-âge pour le hareng de printemps (P) et d'automne (A) selon divers auteurs

Type de hareng	Gaspé Messieh et. al. (présente étude) ^a		Baie des Chaleurs Côté-Lamoureux (1977) ^a		Îles-de-la-Madeleine Parsons-Hodder (1975) ^a		Sud-ouest de Terre-Neuve Parsons-Hodder (1975) ^a		Sud du Golfe Messieh-Tibbo (1971) ^b	
	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
Age										
3	281	289	276	270	274	280	267	272	255	264
4	298	307	298	294	291	301	294	301	289	295
5	304	316	314	314	300	311	305	315	302	313
6	318	336	326	329	312	320	315	324	313	324
7	326	339	335	341	324	332	321	330	320	330
8	331	346	342	349	327	333	328	337	324	334
9	330	354	347	357	334	346	334	343	327	336
10	—	—	351	365	340	347	341	350	329	338
Paramètres de croissance										
L _∞	357	369	362	392			352	364	332	334
K	0,21	0,27	0,29	0,21			0,28	0,26	0,47	0,53
t ₀	-4,29	-2,70	-1,97	-2,62			1,87	-2,29	-0,08	0,19

a = Valeurs observées au moyen d'otolithes

b = Valeurs déduites à partir de rétro-calcul sur les écailles

TABLEAU VI

Distribution de fréquence des stades de maturité pour le hareng échantillonné dans la région de Gaspé (région 438) de 1967 à 1973

Année	Mois	Pourcentage des poissons au divers stades de maturité								Nombre de poissons
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1967	Août				70		21	9		470
	Septembre				62		27	11		200
1968	Mai					52	46		2	100
	Août Septembre			55 37				6	39 63	100 200
1969	Juin	1	6	14	59	14			4	800
	Juillet		4	4	9	83				220
	Septembre	4	38	8	3	6	1	32	8	680
1970	Juillet			22	41	18	5	12	2	200
	Août			25	4	34	12	23	2	499
	Septembre			15	16	18	25	17	9	200
	Octobre		65	16	1			10	8	200
1971	Mai		2	47	4			5	42	149
	Juin		46	12	31	7			1	199
	Juillet		19	9	30	36	3			383
	Août		1	17	18	33	15	2	14	126
1972	Juillet		35	36	29					300
	Août	1	8	11	13	47		1	19	100
	Septembre	31	10	35	3			6	15	81
1973	Août		2	20	23	45		2	8	317
	Septembre		13	26	43	3			15	167
	Octobre	5	20	29	12	1		2	31	200
	Novembre	61	39							46

TABLEAU VII

Distribution des semaines où il y a 50% de la population adulte en période de reproduction pour les régions de Gaspé, du banc des Américains (A) et de la baie des Chaleurs (B).

Année		Semaines où 50% de la population adulte est en période de reproduction											
		Hareng de printemps						Hareng d'automne					
		17	18	19	20	21	22	32	33	34	35	36	37
1967	A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	B	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1968	A	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1969	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	B	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
1971	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	B	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1972	A	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	B	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1973	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

TABLEAU VIII

Données de longueur-fécondité du hareng de printemps et d'automne pour différents districts de pêche de l'estuaire du Saint-Laurent et de la péninsule gaspésienne.

Type de hareng	Hareng de printemps					Hareng d'automne			
	Dist. 3	Dist. 5-7	Dist. 8-11	Dist. 12-15	Moyenne	Dist. 5-7	Dist. 8-11	Dist. 12-15	Moyenne
Longueur (cm inf.)									
22	26 308				26 308				
23									
24	19 798				19 798				
25	31 812				31 812				
26	34 843				34 843				
27	36 630				36 630				
28	37 543				37 543				
29	55 617	61 601	69 860	59 667	62 916		74 970	95 993	85 481
30	50 386	65 169	79 230	65 808	58 590		67 947	99 823	83 885
31	80 611	78 955	86 970	82 466	83 091		81 756	153 068	129 297
32		98 436	108 237		102 356	128 082	136 479	155 261	141 191
33			145 899		145 899	170 026	165 265	163 065	164 592
34		110 724	105 199		107 961	155 360	159 577	178 620	167 693
35		129 997			129 997	204 239	208 007	197 522	203 649
36						236 661	190 320		221 214
37						201 657	239 419	239 419	226 832
38						253 123			253 123

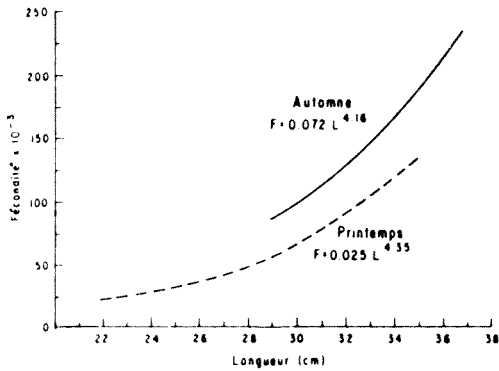


Figure 9. Courbes exponentielles ajustées aux données de longueur-fécondité pour le hareng de printemps et d'automne de la région de Gaspé.

une classe-d'âge durant les mois successifs de pêche d'une année. Ces observations suggèrent que la pêche dans la région de Gaspé exploite plusieurs stocks en migration. Les résultats des tests statistiques sur les caractères méristiques supportent cette conclusion.

Nous avons noté une croissance plus rapide du hareng d'automne par rapport au hareng de printemps (fig. 8); ceci a déjà été signalé par plusieurs auteurs (Day 1957; Messieh et Tibbo, 1971; Parsons et Hodder, 1975) et est possiblement due aux différences génétiques ainsi qu'aux différences environnementales auxquelles sont sujets ces deux groupes de hareng.

Les analyses de fécondité pour des poissons de même longueur tendent à démontrer que le hareng de la région de Rivière-du-Loup/Rimouski (district 3) est moins fertile que celui d'ailleurs (tableau VIII). Côté (données non publiées) a trouvé que la croissance du hareng de cette région est beaucoup plus lente que partout ailleurs et est de l'avis qu'il s'agit là d'un stock local.

Des comparaisons avec les estimations de fécondité provenant d'autres études (Messieh, 1976) concordent pour le hareng de printemps. Quant au hareng d'automne, ces estimations sont un peu plus élevées que celles de Messieh (1976) pour le hareng du sud du golfe Saint-Laurent. Ceci peut indiquer la présence de poissons plus féconds provenant d'un autre stock.

TABLEAU IX

Caractères méristiques (moyenne et écart-type) pour le hareng de la région de Gaspé et du banc des Américains (région 438) de 1969 à 1973

Année et mois	Rayons de la nageoire pectorale			Rayons de la nageoire dorsale			Nombre de vertèbres		
	N	\bar{P}	E.T.	N	\bar{D}	E.T.	N	\bar{V}	E.T.
1969									
Juin	557	18,11	0,88	580	18,90	0,80	693	55,57	0,76
Juillet	—	—	—	189	17,85	1,11	198	55,60	0,73
Septembre	671	17,78	0,98	662	19,15	0,77	675	55,54	0,72
1970									
Juillet	194	18,12	0,96	195	19,49	0,73	194	55,63	0,68
Août	495	18,08	1,00	484	19,31	0,75	484	55,66	0,68
Septembre	199	18,07	1,06	190	19,31	0,77	195	55,72	0,71
Octobre	198	17,41	0,93	194	19,02	0,79	194	55,28	0,69
1971									
Juin	197	17,93	1,05	180	19,34	0,70	197	55,41	0,68
Juillet	277	18,38	1,07	262	19,54	0,70	278	55,53	0,70
1972									
Juillet	298	17,67	0,90	285	19,29	0,69	299	55,40	0,71
Août	99	18,24	1,00	99	19,41	0,65	90	55,43	0,64
Septembre	179	18,37	1,07	173	19,55	0,67	172	55,61	0,79
1973									
Octobre	54	18,00	0,91	53	19,58	0,69	52	55,73	0,56
Novembre	46	18,02	0,68	46	19,59	0,77	43	55,95	0,38

Pour les longueurs comparées, le hareng d'automne est significativement ($t = 4.64$, $N = 21$, $P < .001$) plus fécond que le hareng de printemps. Par contre, le petit nombre d'échantillons n'a pas permis de comparaison statistique entre les districts.

Les résultats indiquent très peu de différence entre le hareng de printemps et le hareng d'automne pour ce qui est de la relation longueur-poids (fig. 7), alors que Parsons et Hodder (1975), à partir de leur échantillonnage de hareng du sud-ouest de Terre-Neuve durant l'hiver, avaient obtenu un rapport longueur-poids plus élevé pour le hareng d'automne. Ils expliquent cette différence par le poids des gonades du hareng de printemps qui durant l'hiver est plus élevé que celui du hareng d'automne. Les échantillons de la présente étude ayant été obtenus durant les saisons de reproduction des deux populations, on présume que les gonades étaient à peu près au même stade de développement dans les deux cas, ce qui peut expliquer l'absence de différence notée ci-dessus.

La région d'étude se trouve dans une zone de production primaire maximale et de haute production de zooplancton (Stevens, 1971); selon cet auteur, les taux élevés de production primaire s'expliqueraient par la présence de «pompes de nutriments» dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Cependant, il a été démontré (Trites, 1968; Legendre et Watt, 1970, El-Sabh, 1976) que la présence de tourbillons cycloniques et anti-cycloniques, est souvent associée respectivement avec de fortes et de faibles concentrations d'éléments nutritifs. On comprend alors l'importance de ces tourbillons cycloniques par le fait qu'ils remontent à la surface les éléments nutritifs des eaux profondes. Les deux types de tourbillons sont présents et parfois durant les mêmes mois (fig. 2). La dominance d'un tourbillon cyclonique est caractéristique durant l'été au large de la région de Gaspé. Ce tourbillon est particulièrement évident aux mois de juin 1967 et 1969 août 1967 et septembre 1971.

La production primaire et secondaire très importante de cette région, associée aux tourbillons cycloniques et aux mouvements de remontées d'eau profonde ainsi que de la présence de «pompes de nutriments» dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent peut expliquer la raison pour laquelle cette région est une des principales zones d'alimentation des stocks de hareng

du golfe Saint-Laurent. La présence de ces tourbillons concorde avec les données d'El-Sabh (1976) qui a démontré l'existence d'un tourbillon stationnaire à l'ouest de l'île d'Anticosti, non loin de la zone qui nous intéresse.

Legendre et Watt (1970), ont également démontré l'existence d'un tourbillon cyclonique près de l'entrée de la baie des Chaleurs. Ils ont démontré que la production en cet endroit correspond avec ce que l'on peut s'attendre théoriquement, à cause de la présence de remontées d'eaux profondes, froides et riches en éléments nutritifs. La zone de production maximale correspond à la position du tourbillon cyclonique tel que le prédisent les gradients de température.

Une autre caractéristique océanographique qui a pu favoriser la pêche du hareng dans la région de Gaspé est la présence de poches d'eau froide et d'eau chaude le long de la ligne d'interface des courants. Celles-ci furent très évidentes en août 1968 et 1969 ainsi qu'en septembre 1972 et 1975. Laevastu et Hela (1970) ont discuté l'importance de l'interface des courants pour les pêches, par son effet favorisant l'agrégation des poissons pélagiques.

Nous avons rapporté ici la présence de hareng de printemps et de hareng d'automne autour de la Gaspésie et noté les différences entre ces deux groupes au niveau de leurs taux de croissance, de leur fécondité et de leurs périodes de reproduction. Cependant, d'autres données, telles que le dénombrement des caractères méristiques la structure d'âge des poissons pêchés au cours des divers mois ainsi que la fécondité des poissons selon le district de pêche d'où ils proviennent, nous laissent croire que le hareng de printemps et le hareng d'automne comportent chacun plusieurs populations, ce qui rejoindrait, du moins en partie, les hypothèses de Day (1957) et de Côté et Lamoureux (1977).

Il faudrait à l'avenir orienter les travaux de recherche vers une meilleure différenciation de ces populations de hareng, la connaissance détaillée de chacune d'elle étant essentielle à une gestion adéquate de la pêche.

Remerciements

Nous désirons remercier Madame B. Scovil et Monsieur D. Moore pour leur assistance technique, ainsi que Messieurs W. McMullon et F. Cunningham pour la préparation des illustrations.

References

- ALLEN, K. R., 1966. A method of fitting growth curves of the von Bertalanffy type to observed data. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 23: 163-179.
- ANONYME, 1964. Report of Standing Committee on Research and Statistics. App. 1 Report of *ad hoc* group on herring and other pelagic fish. — *Int. Comm. Northw. Atlant. Fish. Red-book 1964*, Part 1: 23-30.
- CÔTÉ, G. et P. LAMOUREUX, 1977. Étude des populations de hareng (*Clupea harengus harengus* L.) de la péninsule gaspésienne en 1976. — *Cahiers d'information*, n° 81, Direction des pêches maritimes, 29 p.
- DAY, L. R., 1957. Populations of Herring in the Northern Gulf of St-Lawrence. — *Fish. Res. Bd Can. Bull.*, 111: 103-119.
- EL-SABH, M., 1976. Surface circulation pattern in the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 124-138.
- HUNT, J. J., L. S. PARSONS, J. E. WATSON and G. H. WINTERS, 1973. Report of herring Ageing Workshop, St. Andrews, N.B., December 1-13, 1972. — *Int. Comm. Northw. Atlant. Fish. Sp. Mtg.*, Res. Doc. No. 2, Ser. No 2901.
- JEAN, Y., 1956. A study of spring-and fall-spawning herring at Grande-Rivière, Bay of Chaleur, Québec. — *Contr. Dep. Fish. Québec*, 49: 76 p.
- JEAN, Y., 1967. A comparative study of herring (*Clupea harengus* L.) from the estuary and the gulf of St. Lawrence. — *Naturaliste can.*, 94: 7-27.
- LAEAVASTU, T. and I. HELA, 1970. Fisheries Oceanography, A 8-32. *In* *Fishing News (Books) Ltd.*, London, 238 p.
- LEGENDRE, L. and W. D. WATT, 1970. The distribution of primary production relative to a cyclonic gyre in Baie des Chaleurs. — *Mar. Biol.*, 7: 167-170.
- MESSIEH, S. N., 1976. Fecundity studies on Atlantic herring from the southern Gulf of St. Lawrence and along the Nova Scotia Coast. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, No 3: 384-394.
- MESSIEH, S. N., 1978. Herring populations of the Magdalen Islands, Gulf of St. Lawrence. — Report to CAFSAC Pelagic Subcommittee, Dartmouth, N.S., 40 p.
- MESSIEH, S. N. and S. N. TIBBO, 1971. Discreteness of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) populations in spring and autumn fisheries in the southern Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 28: 1009-1014.
- PARSONS, L. S. and V. M. HODDER, 1975. Biological characteristics of southwest Newfoundland herring, 1965-71. — *Int. Comm. Northw. Atlant. Fish. Res. Bull.*, 11: 145-160.
- SINDERMAN, C. J., 1958. An epizootic in Gulf of St. Lawrence fishes. — *Trans. 23 rd N. Am. Wildl. Conf.*, 349-360.
- STEVEN, D. M., 1971. International biological program study of the Gulf of St. Lawrence, p. 146-159. *In*: E. M. Hassan (Coordinator) *Proceedings of 2nd Gulf of St. Lawrence Workshop*, BIO, Dartmouth, 168 p.
- TAYLOR, J., 1977. Changes in program Conmap from Jan./76 to Nov./77. — *Mar. Envir. Data Serv.*, Tech. Note No. 27, 22 p.
- TIBBO, S. N. and T. R. GRAHAM, 1963. Biological changes in herring stocks following an epizootic. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 20: 435-439.
- TRITES, R. W., 1968. Are gyres a common feature of the Gulf? p. 34-36. *In*: R. W. Trites (Coordinator), *Proceedings of Gulf of St. Lawrence Workshop*, BIO, Dartmouth, N.S., 86 p.

Orientation bibliographique

Comme tous les aspects de l'océanographie du Saint-Laurent ne sont pas abordés ici, nous avons cru bon de dresser une brève bibliographie sur les principaux aspects de l'océanographie du Saint-Laurent. La liste qui suit ne comprend pas tous les travaux importants, mais surtout des travaux récents pouvant fournir une orientation bibliographique sommaire.

Aspects généraux

a) Limites et subdivisions de l'estuaire du Saint-Laurent :

- DIONNE, J.C., 1963. Vers une définition plus adéquate de l'estuaire du Saint-Laurent. — *Z. Geomorph.* 7 : 36-44.
- DIONNE, J.C. 1967. Les « estuaires du Saint-Laurent ». — *Cah. Géogr. Québec*, 23 : 397-398.
- GAUTHIER, B., 1971. Contribution à la régionalisation du Saint-Laurent. — *Naturaliste can.*, 98 : 401-414.
- LAVERDIÈRE, C., J.C. DIONNE, L.E. HAMELIN, P. BRUNEL et C. LASSERRE, 1970. Les grandes divisions du Saint-Laurent. — *Revue Geogr. Montréal*, 24 : 283-303.
- ROUSSEAU, J., 1967. Pour une esquisse biogéographique du Saint-Laurent. — *Cah. Gogr. Québec*, 23 : 181-241.

b) Bibliographies sur le Saint-Laurent :

- BRUNEL, P., 1970. Bibliographie choisie sur l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent. — *Revue Géogr. Montréal*, 24 : 277-282.
- EL-SABH, M.I., 1976. Bibliographie sur l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent. — *Cah. Univ. Qué. Rimouski*, n° 2, 97 p.
- LEBLOND, R., 1967. Le Saint-Laurent : orientation bibliographique. — *Cah. Géogr. Québec*, 23 : 419-464.

Aspects physiques

- EL-SABH, M.I., 1973. Seasonal and long-term variations of the water properties in the Gulf of St. Lawrence, p. 128-158. *In*: M.I. El-Sabh (Ed.), *Proc. Workshop on the Physical Sciences in the Gulf and Estuary of St. Lawrence*. Univ. Qué. Rimouski, Québec. 249 p.
- EL-SABH, M.I., 1975. Transport and currents in the Gulf of St. Lawrence. — *Bed. Inst. Oceanogr. Rep. Ser./BI-R-75-9*: 180 p.
- EL-SABH, M.I., 1976. Surface circulation pattern in the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33 : 124-138.
- EL-SABH, M.I. 1977a. Circulation pattern and water characteristics in the lower St-Lawrence Estuary. — *Proc. Symp. on Modelling of Transport Mech. in Oceans and Lakes*. Burlington, Ont. — *Environnement Canada, M.S. n° 43*: 243-248.
- EL-SABH, M.I. 1977b. Oceanographic features, currents and Transport in Cabot Strait. — *J. Fish. Res. Bd. Can.* 34 : 516-548.
- FARQUHARSON, W.I., 1966. St. Lawrence estuary current surveys. — *Bed Inst. Oceanogr., Rep. Ser.* 66-6 : 84 p.
- FORRESTER, W.D., 1970. Geostrophic approximation in the St. Lawrence Estuary. — *Tellus*. 22 : 53-65.
- FORRESTER, W.D., 1972. Tidal transports and streams in the St. Lawrence River and Estuary. — *Int. hydrogr. Rev.*, 49 : 95-108.
- FORRESTER, W.D., 1974. Internal tides in the St. Lawrence Estuary. — *J. mar. Res.*, 32 : 55-66.
- FORRESTER, W.D. and M.I. EL-SABH, 1974. Principle of salt continuity applied to estuarine transport calculations. — *Rapp. P.-V. Réun. Cons. int. Explor. Mer.*, 167 : 49-52.
- INGRAM, R.G., 1975. Influence of tidal-induced vertical mixing on primary productivity in the St. Lawrence Estuary. — *Mém. Soc. R. Sci., Liège*, 6 : 59-74.
- INGRAM, R.G., 1976. Characteristics of a tide-induced estuarine front. — *J. geophys. Res.*, 81 : 1951-1959.
- INGRAM, R.G., 1978. Internal wave observation off Île Verte. — *J. mar. Res.*, 36 : 715-724.

- LÉVESQUE, L., T.S. MURTY and M.I. EL-SABH, 1979. Numerical modeling of tidal propagation in the St. Lawrence Estuary. — *Int. hydrogr. Rev.*, 56 (in press).
- MERIC, P., 1975. Circulation résiduelle dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent et son influence sur les processus sédimentaires. — Univ. Laval, CENTREAU, Rap. N° CRE-75/03 : 68 p.
- MURTY, T.S. and M.I. EL-SABH, 1977. Transverse currents in the St. Lawrence Estuary: a theoretical treatment, p. 35-62. *In*: R.J. Gibbs (Ed.), *Transport Processes in Oceans and Lakes*. Plenum Press, N.Y., 288 p.
- NEU, H.J.A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence Estuary up to 1964. — *Atlant. Oceanogr. Lab., Bed. Inst., Rep. Ser.* 1970-9: 31 p.
- NEU, H.J.A., 1975. Run-off regulation for hydropower and its effects on the ocean environment. — *Can. J. Civil, Eng.*, 2: 583-591.
- REID, S.J., 1977. Circulation and mixing in the St. Lawrence Estuary near Îlet Rouge — *Bedford Inst. Oceanogr. Report Series/BI-R-77*: 36 p.
- SIEBERT, G., R.W. TRITES and S. REID, 1979. Deep water exchange processes in the Saguenay fjord. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: 42-53.
- THERRIAULT, J.C. and G. LACROIX, 1975. Penetration on the deep layer of the Saguenay fjord by surface waters on the St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 32: 2373-2377.

Aspects chimiques, géochimiques et pollution

- BEWERS, J.M. and P.A. YEATS, 1978. Trace metals in the waters of a partially mixed estuary. — *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 7: 147-162.
- BEWERS, J.M., I.D. MACAULAY and B. SUNDBY, 1974. Trace metals in the waters of the Gulf of St. Lawrence. — *Can. J. Earth Sci.*, 11: 939-950.
- BOURGET, E. and D. COSSA, 1976. Mercury content of mussels from the St. Lawrence Estuary and north-western Gulf of St. Lawrence Canada. — *Mar. Pollut. Bull.*, N° 7: 237-239.
- CHANUT, J.-P. et S.A. POULET, 1979. Distribution des spectres de taille des particules en suspension dans le fjord du Saguenay. — *Can. J. Earth Sci.*, 16: 240-249.
- COSSA, D. and E. BOURGET, 1979. Trace elements in *Mytilus edulis* L. from the estuary and gulf of St. Lawrence. Canada: Lead and cadmium concentrations. — *Envir. Pollut.*, (in press).
- COSSA, D. and S.A. POULET, 1978. Survey of trace metal contents of suspended matter in the St. Lawrence Estuary and Saguenay Fjord. — *J. Fish. Res. Bd. Can.* 35: 338-345.
- D'ANGLEJAN, B. and R.G. INGRAM, 1976. Time-depth variations in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. — *Estuar. Coastal Mar. Res.*, 4: 401-416.
- DRAPEAU, G., W. HARRISON, W. BIEN and P. LIMONON, 1974. Oil slick fate in a region of strong tidal current. — *Proc. 14th Int. Conf. Coast. Eng.*, 2245-2259.
- INGRAM, R.G., and B. D'ANGLEJAN, 1977. On the importance of cross channel suspended matter flux in the upper St. Lawrence Estuary. — *Proc. Symp. on Modelling of Transport Mech. in Oceans and Lakes*, Burlington, Ont. Environnement Canada, M.S. N° 43: 149-159.
- LEVY, E.M., 1971. The presence of petroleum residues off the east coast of Nova Scotia, in the Gulf of St. Lawrence and the St. Lawrence River. — *Water Res.*, 5: 723-733.
- LEVY, E.M. and A. WALTON, 1973. Dispersed and particulate petroleum residues in the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 261-267.
- LORING, D.H., 1975. Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence. — *Can. J. Earth Sci.*, 12: 1219-1237.
- LORING, D.H., 1976a. The distribution and partition of zinc, copper, and lead in the sediments of the Saguenay fjord. — *Can. J. Earth. Sci.*, 13: 960-971.
- LORING, D.H., 1976b. The distribution and partition of cobalt, nickel, chromium, and vanadium in the sediments of the Saguenay fjord. — *Can. J. Earth Sci.*, 13: 1706-1718.
- LORING, D.H. and J.M. BEWERS, 1978. Geochemical mass balances for mercury in a Canadian fjord. — *Chem. Geol.*, 22: 309-330.
- LORING, D.H. and D.J.G. NOTA, 1968. Occurrence and significance of iron, manganese, and titanium in glacial marine sediments from the estuary of the St. Lawrence river. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 25: 2327-2347.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1978. Détermination du bore inorganique dans l'estuaire du Saint-Laurent. — *Can. J. Earth Sci.*, 14: 1732-1739.
- POCKLINGTON, R., 1976. Terrigenous organic matter in surface sediments from the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33 (1): 93-97.
- STRAIN, P.M. and F.C. TAN, 1979. Carbon and oxygen isotope ratios in the Saguenay Fjord and the St. Lawrence estuary and their implications for paleoenvironmental studies. — *Estuar. Coastal mar. Sci.*, 8: 119-126.

- SUBRAMANIAN, V. and B. D'ANGLEJAN, 1976. Water chemistry of the St. Lawrence Estuary. *J. Hydrology*, 29: 341-354.
- SUNDBY, B., 1977. Manganese-rich particulate matter in a coastal marine environment. — *Nature*, 270: 417-419.
- SUNDBY, B. and D.H. LORING, 1978. Geochemistry of suspended particulate matter in the Saguenay fjord. — *Can. J. Earth Sci.*, 15: 1002-1011.
- TAN, F.C. and STRAIN, P.M., 1979. Organic carbon isotope ratios in recent sediments in the St. Lawrence estuary and the Gulf of St. Lawrence. — *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 8: 213-226.
- TRITES, R.W., 1972. The Gulf of St. Lawrence from a pollution viewpoint, p. 59-72. *In*: M. Ruivo (Ed.), *Marine pollution and sea life*, London, Fishing News (Books).
- YEATS, P.A. and J.M. BEWERS, 1976. Trace metals in the waters of the Saguenay Fjord. — *Can. J. Earth Sci.*, 13: 1319-1327.

Aspects géologiques

- BOURGET, E., 1977. Observations on the effects of frost on beach sediments at Rimouski, lower St. Lawrence Estuary, Québec. — *Can. J. Earth Sci.*, 14: 1732-1739.
- D'ANGLEJAN, B.F., 1971. Submarine sand dunes in the St. Lawrence Estuary. — *Can. J. Earth Sci.*, 8: 1480-1486.
- D'ANGLEJAN, B.F., and M. BRISEBOIS, 1978. Recent sediments of the St. Lawrence middle estuary. — *J. Sed. Petrology*, 48: 951-964.
- D'ANGLEJAN, B.F., and M. BRISEBOIS, 1974. First sub-bottom acoustic reflector and thickness of recent sediments in the upper estuary of the St. Lawrence. — *Can. J. Earth Sci.*, 11: 232-245.
- D'ANGLEJAN, B.F. and E.C. SMITH, 1973. Distribution, transport and composition of suspended matter in the St. Lawrence estuary. — *Can. J. Earth Sci.*, 10: 1380-1396.
- D'ANGLEJAN, B.F., E.C. SMITH and M. BRISEBOIS, 1974. Modern sedimentation and suspended transport in the St. Lawrence Estuary. — *In*: *Relations sédimentaires entre estuaires et plateaux continentaux*, Symposium Int., Bordeaux, 1973; *Mém. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, N° 7: 9-17.
- DIONNE, J.C., 1968. Morphologie et sédimentologie glacielles, littoral sud du Saint-Laurent. — *Z. Geomorph., Suppl. Bd.*, 7: 56-84.
- DIONNE, J.C., 1975. L'action morpho-sédimentologie des glaces dans le Saint-Laurent estuarien, p. 25-37. *In*: P.G. Johnson (Ed.), *Fluvial Processes*, Univ. Ottawa Press.
- KUMARAPELI, D.S. and V.A. SAULL, 1966. The St. Lawrence valley system: a North American equivalent of the East African rift valley system. — *Can. J. Earth Sci.*, 3: 639-658.
- LORING, D.H. and D.J.G. NOTA, 1969. Mineral dispersal patterns in the Gulf of St. Lawrence. — *Revue Géogr. Montréal*, 23: 289-305.
- LORING, D.H. and D.J. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. — *Fish. Res. Bd Can.*, Bull N° 182, 147 pp.
- SILVERBERG, N., 1978. Sediments of the Rimouski shelf regions, St. Lawrence Estuary. — *Can. J. Earth Sci.*, 15: 1724-1736.
- SILVERBERG, N. and SUNDBY, 1979. Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence Estuary. — *Can. J. Earth Sci.*, 16: (in press).
- SUNDBY, B., 1974. Distribution and transport of suspended particulate matter in the Gulf of St. Lawrence. — *Can. J. Earth Sci.*, 11: 1517-1533.

Aspects biologiques

- ABLE, K.W., 1978. Ichthyoplankton of the St. Lawrence Estuary: Compositions, distributions and abundances. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: (in press).
- BAILEY, R.F.J., K.W. ABLE and W.C. LEGGETT, 1977. Seasonal and vertical distribution and growth of juvenile and adult capelin (*Mallotus villosus*) in the St. Lawrence Estuary and western Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2030-2040.
- BAILEY, R.F.J., D.W. ABLE and W.C. LEGGETT, 1977. Evidence for the presence of a metamorphic check in capelin (*Mallotus villosus*) otoliths and implications for age determination. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2008-2014.
- BÉDARD-THERRIAULT, L. et A. CARDINAL, 1973. Variation de la teneur en acide alginique des Fucales de l'estuaire du Saint-Laurent (Québec) en fonction de certains facteurs écologiques. — *Botanica mar.*, 16: 96-102.
- BOURGET, E. et G. LACROIX, 1973. Aspects saisonniers de la fixation de l'épifaune benthique de l'étage infralittoral de l'estuaire du Saint-Laurent. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 867-880.

- BOUSFIELD, E.L., G. FILTEAU, M. O'NEILL and P. GENTES, 1975. Population dynamics of zooplankton in the middle St. Lawrence Estuary, p. 325-351. In: L.E. CRONIN (Ed.), *Estuarine Research*, 1: 738 p. Academic Press, New York.
- BRETON-PROVENCHER, M. et A. CARDINAL, 1976. Variations de la teneur calorifique des Fucacées de l'estuaire du Saint-Laurent (Québec). — *Phycologia*, 15: 357-361.
- CARDINAL, A. et L. BÉRARD-TERRIAULT. 1976. Le phytoplancton de l'estuaire moyen du Saint-Laurent en amont de l'Île-aux-Coudres (Québec). *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 61: 629-638.
- CARDINAL, A. et M. BRETON-PROVENCHER, 1977. Variations de la teneur en acide alginique des Laminariales de l'estuaire du Saint-Laurent. — *Botanica mar.*, 20: 243-251.
- CARDINAL, A., J. CABIOCH et L. GENDRON, 1978. Les Corallinacées (Rhodophyta, Cryptonemiales) des côtes du Québec. I. *Clathromorphum* Foslie. — *Cah. Biol. mar.*, 19: 175-187.
- CARDINAL, A., J. CABIOCH et L. GENDRON, 1978. Les Corallinacées (Rhodophyta, Cryptonemiales) des côtes du Québec. II. *Lithotharnium* Philippi emend. Adey. — *Cah. Biol. mar.*, (sous presse).
- CARDINAL, A. et P.E. LAFLEUR, 1977. Le phytoplancton estival de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. — *Bull. Soc. phycol. France*. 22: 150-160.
- COOTE, A.R. and P.A. YEATS, 1979. Distribution of nutrients in the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 36: 122-131.
- CÔTÉ, R. et G. LACROIX, 1978. Variabilité à court terme des propriétés physiques, chimiques et biologiques du Saguenay, fjord subarctique du Québec (Canada). — *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 63: 25-39.
- CÔTÉ, R. et G. LACROIX, 1978. Capacité photosynthétique du phytoplancton de la couche aphotique dans le fjord du Saguenay. — *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 63: 233-246.
- DEMERS, S. et L. LEGENDRE, 1979. Effet des marées sur la variation circadienne de la capacité photosynthétique du phytoplancton de l'estuaire du Saint-Laurent. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* (sous presse).
- FORTIER, L., LEGENDRE, A. CARDINAL et C.L. TRUMP, 1978. Variabilité à court terme du phytoplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent. — *Marine Biol.*, 46: 349-354.
- GREISMAN, P. and R.G. INGRAM, 1977. Nutrient distribution in the St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2117-2123.
- JACQUAZ, B., K.W. ABLE and W.C. LEGGETT, 1977. Seasonal distribution, abundance and growth of larval capelin (*Mallotus villosus*) in the St. Lawrence Estuary and northwestern Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2015-2029.
- PARENT, S. et P. BRUNEL, 1976. Aires et périodes de fraye du Capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. *Trav. Pêche, Québec*. 45: 1-46.
- SEVIGNY, J.-M., M. SINCLAIR, M.I. EL-SABH, S.A. POULET and A. COOTE, 1979. Summer plankton distributions associated with the physical and nutrient properties of the north-western Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 36: 187-203.
- SHARP, J.C., K.W. ABLE, W.C. LEGGETT and J.E. CARSCADDEN, 1978. The utility of meristic and morphometric characters for the identification of capelin (*Mallotus villosus*) stocks in Canadian Atlantic waters. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: 124-130.
- SINCLAIR, M., 1978. Summer phytoplankton variability in the lower St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: 1171-1185.
- SINCLAIR, M., E. KEIGHAN and J. JONES, 1979. ATP as a measure of living phytoplankton carbon in estuaries. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 36: 180-186.
- SINCLAIR, M., M.I. EL-SABH and J.-R. BRINDLE, 1976. Seaward nutrient transport in the lower St. Lawrence estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 1271-1277.
- STEVEN, D.M., 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. — *McGill Univ. Mar. Sci. Cent.*, MS Rep. N° 26, 116 p.
- SUTCLIFFE, W.H., Jr., 1972. Some relations of land drainage, nutrients, particulate material and fish catch in two eastern Canadian bays. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 29: 357-362.
- SUTCLIFFE, W.H., 1973. Correlations between seasonal river discharge and local landings of American lobster (*Homarus americanus*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in the Gulf of St. Lawrence. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 856-859.
- TERRIAULT, J.-C. and G. LACROIX, 1976. Nutrients, chlorophyll, and internal tides in the St. Lawrence Estuary. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 2747-2757.

LE NATURALISTE CANADIEN

INDEX

Table des auteurs : vol. 1-100 (1868-1973)

Index des sujets et des noms de taxons :
vol. 55-100 (1929-1973)

Cet index, publié par *Le Naturaliste canadien*, comprend d'abord la liste de tous les articles parus dans la revue depuis sa fondation, en 1868 jusqu'au 100ième volume (1973), selon l'ordre alphabétique des noms d'auteurs. Suit un index des sujets et de tous les noms de taxons (y compris les noms infraspécifiques) mentionnées dans les volumes 55 à 100.

Cet index de 360 pages est un outil indispensable pour les bibliothèques et pour tous ceux qui voudraient repérer facilement l'abondante information contenue dans les pages de la plus ancienne revue scientifique du Canada.

On peut le commander (prix : \$10.00) en s'adressant à :

This index is published by *Le Naturaliste canadien*. All articles which have appeared from the first number in 1868, up to Volume 100 in 1973, are listed according to authors' names. There is also an index to subjects and scientific names mentioned in Volumes 55-100.

This 360 pages index is essential for all libraries and for those who want to retrieve easily the abundant information published in the oldest Canadian scientific periodical.

Orders (price, CAN \$10.00) be placed with :

Les Presses de l'Université Laval
C.P. 2447, Québec G1K 7R4

DIRECTIVES AUX AUTEURS

ORIENTATION DE LA REVUE

On peut soumettre au *Naturaliste canadien* des *articles inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée, de la taxonomie, de la morphologie ou des sciences de la terre. Tout manuscrit sera jugé en fonction de l'originalité des résultats et de l'interprétation. Les revues thématiques ne seront acceptées que si elles donnent lieu à d'importantes généralisations scientifiques. Des *articles courts* (maximum de quatre pages dans la revue) peuvent être acceptés comme "Communications brèves" s'ils découlent d'une recherche de qualité.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à double interligne sur le recto de feuilles de 21.5 X 28 cm, seront expédiés en trois exemplaires au Secrétaire de la rédaction.

Les éléments du manuscrit sont les suivants : (1) le titre ; (2) le nom de l'auteur ; (3) le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur ; (4) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces (sur une page séparée) ; (5) les résumés français et anglais (maximum de 300 mots) ; (6) le texte ; (7) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains), les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes) et les références bibliographiques.

TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant : 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 infra-marginales devront être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement ; (3) pour les unités de mesure, on utilisera de préférence le système métrique, (4) on évitera les appendices, et d'ailleurs la Direction de la revue ne s'engage pas à en publier plus d'une page.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles seront indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles seront citées

par ordre alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant des exemples suivants :

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5) : 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In: D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Les titres des périodiques devront être abrégés suivant la "World List of Scientific Periodicals" (édition de 1963).

ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à deux clichés par manuscrit ; tous les clichés additionnels seront à la charge de l'auteur.

Les photographies devront être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupera, 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 de photographies sont requises.

Les dessins doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage devra 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 x 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.

ÉPREUVES ET TIRAGES-À-PART

Les auteurs recevront une série d'épreuves, en même temps qu'un bon de commande pour les tirages-à-part. L'un et l'autre devront être retournés dans les plus brefs délais.

Vente à prix réduit
de collections d'anciens volumes du
NATURALISTE CANADIEN

Les Presses de l'Université Laval sont dans l'obligation de libérer leurs entrepôts de certains surplus de revues. La direction du *Naturaliste canadien* met donc en vente, à prix réduits, des collections d'anciens volumes de la revue, durant une courte période, au tarif suivant :

Volume 60 (1933) à 92 (1965), \$8.00 le volume.

Volume 93 (1966) à 104 (1977), \$10.00 le volume.

Le volume 101 (1974) est épuisé.

Trois collections d'anciens numéros de 1868 à 1891 (volumes 1 à 20), de la période de Provancher, et de 1894 à 1932 (volumes 21 à 59), de la période de Huard, sont disponibles. Prix sur demande.

Secrétariat de la rédaction
« Le Naturaliste canadien »
Université Laval
Québec. G1K 7P4

SOMMAIRE

Liste des collaborateurs	5-7
EL-SABH, M. I., E. BOURGET, J. M. BEWERS et J.-C. DIONNE. Avant-propos	7-12
OUELLET, Yvon et Clifford TRUMP. La circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du Saint-Laurent	13-26
MUIR, Langley R. Internal tides in the middle estuary of the St. Lawrence	27-36
AUBIN, F., T. S. MURTY and M. I. EL-SABH. Numerical simulation of the movement and dispersion of oil slicks in the upper St. Lawrence Estuary: preliminary results	37-44
INGRAM, R. Grant. Water mass modification in the St. Lawrence Estuary	45-54
EL-SABH, Mohammed I. The lower St. Lawrence Estuary as a physical oceanographic system	55-73
KOUTITONSKY, Vladimir G. Transport de masses d'eau à l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent	75-88
EL-SABH, M. I., T. S. MURTY et L. LEVESQUE. Mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent	89-104
GODIN, Gabriel. La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent	105-121
OUELLET, Yvon et José LLAMAS. Complément et analyse des hauteurs de vagues dans le golfe du Saint-Laurent	123-139
MARTY, J. C. et A. CHOINIÈRE. Acides gras et hydrocarbures de l'écume marine et de la microcouche de surface	141-147
BEWERS, J. M. and P. A. YEATS. The behavior of trace metals in Estuaries of the St. Lawrence basin	149-161
KRANCK, Kate. Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary	163-173
FORTIN, Guy et Georges DRAPEAU. Envasement du port de Gros-Cacouna situé sur l'estuaire du Saint-Laurent	175-188
CÔTÉ, Raynald et Guy LACROIX. Variabilité journalière de la chlorophylle a et des taux de production primaire dans le fjord du Saguenay	189-198
BRETON-PROVENCHER, M., J. A. GAGNÉ et A. CARDINAL. Estimation de la production des algues benthiques médiolittorales dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent	199-209
ROBERT, Ginette. Benthic molluscan fauna of the St. Lawrence estuary and its ecology as assessed by numerical methods	211-227
MASSAD, Rafat et Pierre BRUNEL. Associations par stations, densités et diversité des Polychètes du benthos circalittoral et bathyal de l'estuaire maritime du Saint-Laurent	229-253
MESSIEH, S. N., G. CÔTÉ et J. BOULVA. La pêche du hareng de Gaspé	255-271
ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE	273-276

Centre de documentation du MER



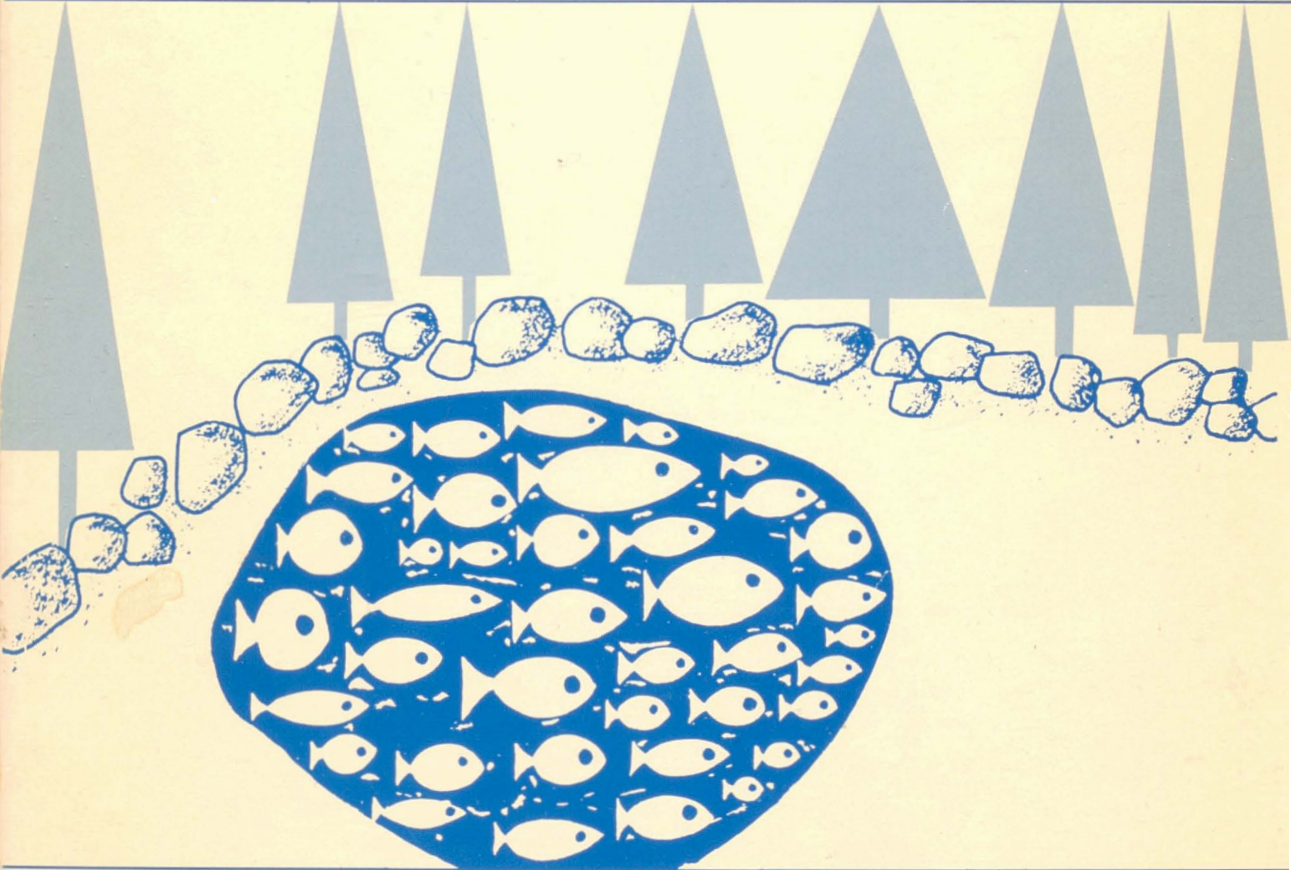
QER A 082 056

Volume 106,
numéro 2
mars-avril 1979

BIBLIOTHÈQUE
DU MINISTÈRE DES TERRES ET
FORÊTS DU QUÉBEC

le naturaliste canadien

revue d'écologie et de systématique



Fondé en 1868
par l'abbé L. Provancher

Les Presses de l'Université Laval

LE NATURALISTE CANADIEN

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR

G.-WILFRID CORRIVAUT

DIRECTEUR-ADJOINT

MIROSLAV GRANDTNER

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

PIERRE MORISSET

COMITÉ DE RÉDACTION

RENÉ BÉLAND, *Université Laval*

RENÉ BÉIQUE, *Direction générale de la conservation, Ministère des terres et forêts, Québec*

JULIEN BERGERON, *Ministère de l'industrie et du commerce, Québec*

BERNARD BERNIER, *Université Laval*

PAUL BERTHET, *Faculté des sciences de Lyon*

PIERRE COUILLARD, *Université de Montréal*

MICHEL DELSOL, *Faculté catholique de Lyon*

LLOYD M. DICKIE, *Institut d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*

ANDRÉ GAGNON, *Université Laval*

PAUL GERVAIS, *Université Laval*

ROGER HEIM, *Muséum national d'histoire naturelle de Paris*

WILLIAM S. HOAR, *Université de la Colombie-Britannique*

ROBERT LAGUEUX, *Université Laval*

VICTORIN LAVOIE, *Université Laval*

ERNEST LEPAGE, *Saint-Simon, Rimouski*

TREVOR PLATT, *Laboratoire d'écologie marine, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, N. E.*

GASTON MOISAN, *Service de la faune du Québec*

W.E. RICKER, *Office des recherches sur les pêcheries du Canada*

D. M. ROSS, *Université d'Alberta*

HENRI TINTANT, *Faculté des sciences de Dijon*

ADMINISTRATION (abonnements, changements d'adresse, droits de reproduction):

Les Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4

Abonnement annuel

personnel: \$17.00

— collectif: \$34.00

— le numéro: \$4.00

Étranger: \$19.00

(multi-user)

— numéros spéciaux: \$10.00

Publication bimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN accepte des **articles inédits**, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée (agronomique, forestière), de la systématique, de la morphologie ou des sciences de la terre.

De brèves **communications scientifiques** seront acceptées pour publication rapide. Elles ne devront pas excéder 1.500 mots, titre et bibliographie compris.

Les **manuscrits** doivent être adressés au **Secrétariat de la rédaction**, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec G1K 7P4, Québec.

LE NATURALISTE CANADIEN est publié avec l'aide du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec.

Répertorié dans Current Contents, Biological Abstracts et Périodex.

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement no 1768

Dépôt légal — Premier trimestre 1979. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Mars-avril 1979

Numéro 2

ÉTUDE DE LA NOURRITURE DE *LYMNAEA CATASCOPIUM CATASCOPIUM* (GASTROPODA, LYMNAEIDAE) DANS LE LAC SAINT-LOUIS, FLEUVE SAINT-LAURENT, QUÉBEC¹

Bernadette PINEL-ALLOUL

et

Étienne MAGNIN

Département des sciences biologiques
Université de Montréal, C.P. 6128, Montréal, Québec, H3C 3J7

Résumé

Pour décrire le régime alimentaire de *Lymnaea catascopium catascopium*, nous avons analysé les fèces de 540 spécimens prélevés bimensuellement de juin à novembre 1971 à cinq stations littorales (prof: 0 à 1 m) du lac Saint-Louis. Les fèces sont constituées de débris organiques (fréquence de 50 à 61%), de débris minéraux (34 à 39%) et d'algues (4 à 16%) dont les variations saisonnières d'importance relative sont présentées. La liste des 92 espèces d'algues (dont 63 espèces de diatomées) identifiées est fournie, de même que l'importance relative des Chrysophytes, des Chlorophytes et des Cyanophytes en fonction des saisons et des stations. Les fèces de *L. c. catascopium* gravellicoles contiennent moins de débris organiques (50%) et plus de débris minéraux (35%) que les contenus stomacaux du Prosobranchie *Viviparus malleatus* (70% et 10%) vasicole, étudié auparavant à une de nos stations, mais des proportions comparables d'algues (16% vs 20%), celles-ci étant représentées par des proportions assez voisines des mêmes genres.

Abstract

In an attempt to describe the diet of *Lymnaea catascopium catascopium*, we analysed the fecal pellets of 540 specimens sampled twice a month in five littoral stations of lake Saint-Louis. The organic detritus, the mineral particles and the algae account respectively for 50 to 61%, 34 to 39%, and 4 to 16% of the content of fecal pellets. The seasonally variable relative abundance of these components are examined. A list of the 92 identified algae species (63 species of Diatomophyta) is given with the seasonally variable relative abundance of the algae groups (Chrysophyta, Chlorophyta and Cyanophyta) at the five stations. Fecal pellets of *L. c. catascopium* contain less organic detritus (50%) and more mineral particles (35%) than the digestive tract contents of Prosobranchia *Viviparus malleatus* (70% and 10%), sampled in one of our stations. The amounts of the total algae (16% vs 20%) and those of each group and genus of algae are in the same order of magnitude in both.

Introduction

Les travaux réalisés sur l'alimentation des Gastéropodes d'eau douce sont encore peu nombreux et souvent uniquement d'ordre

qualitatif (Bovbjerg, 1965, 1968; Calow, 1970; Clampitt, 1970). Des études plus approfondies ont été faites récemment sur des Ancyliidae, des Planorbidae (Calow, 1973 a, d) et des Viviparidae (Stanczykowska, 1959; Stanczykowska et al., 1972; Plinski et al., 1978). Toutefois, en Amérique du nord, aucune étude ne porte sur la nature du régime alimentaire des Lymnées dans leur milieu na-

¹ Cette étude fait partie d'une thèse de Ph.D. présentée à l'Université de Montréal (Pinel-Alloul, 1975).

turel. Nous avons donc entrepris une étude sur l'alimentation de *Lymnaea catascopium catascopium* (Say, 1817), Lymnaeidae qui sont les organismes benthiques dominants de la zone littorale du lac Saint-Louis (Magnin, 1970) et dont la dynamique des populations a aussi été étudiée (Pinel-Alloul et Magnin, 1979).

Matériel et méthodes

Le régime alimentaire des Mollusques d'eau douce ou marins est étudié selon deux méthodes: l'analyse des contenus stomacaux (Stanczykowska, 1959; Clampitt, 1963; Zhadin, 1954; Dazo, 1965; Calow, 1970, 1973 a; Gale et Lowe, 1971; Stanczykowska et al., 1972) et l'analyse des fèces (Paine, 1963, 1965 et Wolda, Sweep et Schuitema, 1971). La dissection sous la loupe binoculaire des différentes parties du tube digestif des spécimens contractés par le liquide fixateur et la récupération des contenus stomacaux sont des opérations longues et difficiles à exécuter avec précision. L'analyse des fèces préconisée par Edmondson et Winberg (1971) ne peut être utilisée que pour les petits animaux qui ont un taux d'assimilation très faible et chez lesquels les organismes ingérés sont conservés presque intacts et peuvent facilement être identifiés dans les fèces. Les Lymnaeidae semblent satisfaire à ces deux conditions. D'après Calow (1970, 1973 a), elles se nourrissent surtout de Diatomées épilithiques et épiphytiques dont les frustules siliceuses sont facilement identifiables dans les fèces (Leighton et Booloolian, 1963). Leur taux d'absorption des aliments, comme pour la plupart des herbivores, est aussi très faible: 35 à 45% (Odum et Smalley, 1959), voire de l'ordre de 25% (Stanczykowska, 1970, communication personnelle). Pour *L. catascopium catascopium* nous avons donc utilisé la méthode d'analyse des fèces qui nous a paru meilleure que la méthode d'analyse des contenus stomacaux.

Tous les quinze jours, du 28 mai au 23 novembre 1971, nous avons recueilli dix individus à cinq stations du lac Saint-Louis dont les caractéristiques abiotiques et biotiques ont été décrites précédemment (Pinel-Alloul et Magnin, 1979). Rappelons cependant que les stations échantillonnées peuvent être classées en trois types correspondant aux trois grandes masses d'eau du lac (Brundritt, 1963; Pageau et Lévesque, 1968;

Magnin, 1970): les stations 3 et 6 situées dans les eaux vertes et dures du fleuve Saint-Laurent, les stations 2 et 10 dans les eaux brunes et douces de la rivière des Outaouais et la station 9 localisée à Pointe-Claire dans un mélange des deux types d'eau précédents. Les individus étaient conservés à jeun pendant quatre jours à une température de 15°C. À la fin de cette période, on prélevait les fèces à l'aide d'une pipette et on les fixait dans un formol à 4%. On introduisait alors 0,5 ml de cet échantillon dans un homogénéisateur Potter et Eweljem de façon à dégrader les particules du mucus. On mettait une goutte de cet homogénat sur une lame, en y ajoutant une goutte de glycérine et on recouvrait d'une lamelle. La lame était examinée au microscope à contraste de phase (objectif 40x).

Les éléments composant les fèces étaient classés en quatre entités: les débris organiques (résidus et algues non identifiables), les débris minéraux (grains de sable et débris de coquille), les algues identifiables et les organismes animaux. Sur chaque préparation, on effectuait cinq balayages de la lamelle et les différents composants étaient identifiés et dénombrés. Les débris organiques et minéraux très nombreux et répartis de façon uniforme compte tenu de l'homogénéisation antérieure ne furent dénombrés que sur un seul balayage de la lamelle et les nombres obtenus furent multipliés par cinq. Les algues, moins nombreuses mais très petites, n'ont pu être identifiées et dénombrées qu'au genre. La présence des organismes animaux, très rares, a simplement été notée. Parmi les algues, le genre *Aphanothece* (algues bleues) présent en très grand nombre dans certains échantillons et sous forme de colonies éparses n'a pas été dénombré; son importance fut estimée par son volume calculé en pourcentage relatif du volume des débris organiques et minéraux. Les résultats de ces dénombrements sont exprimés en termes d'abondance relative (% contribué par chaque type d'éléments, chaque groupe d'algues et chaque genre d'algue consommé, par rapport au nombre total d'éléments ou d'algues dénombrés dans un sous échantillon).

Ultérieurement, nous avons identifié les principales espèces d'algues avec l'objectif à immersion (100x); pour cette analyse, les Diatomées étaient nettoyées et digérées à l'acide chlorhydrique et à l'acide nitrique selon la méthode de Mann (1922).

TABLEAU I

Composition générale (% de n) des fèces de *L. catascopium catascopium* aux cinq stations.
N: nombre d'analyses (10 spécimens par analyse).

Constituants (n)	Sta. 2	Sta. 3	Sta. 6	Sta. 9	Sta. 10	χ^2	d.l.
Débris organiques	52,1	57,2	60,8	52,2	49,6	1,51	4
Débris minéraux	35,4	39,3	34,9	34,5	34,5	0,46	4
Algues	12,5	3,5	4,3	13,3	15,9	11,97*	4
Organismes animaux	<0,1	<0,1	<0,1	—	—	—	—
N	12	10	11	9	12	13,94	8

* significativement différent au seuil de probabilité de 0,95.

Résultats

COMPOSITION DU RÉGIME ALIMENTAIRE ET VARIATIONS SAISONNIÈRES

Les algues ne constituent généralement pas plus du quart des composants des fèces (tableau I) et les organismes animaux sont négligeables (seulement quelques Ciliés et quelques Rotifères). Les débris organiques sont principalement représentés par de la matière végétale présentant une couleur verte ou marron à l'examen microscopique. Les débris minéraux se composent de grains de sable et de débris de coquilles. Les algues se répartissent en trois grands groupes: les Chrysophytes, uniquement représentés par des Diatomées, les Chlorophytes et les Cyanophytes.

Le régime alimentaire des Lymnées des cinq stations est comparable en ce qui concerne les proportions de débris organiques et minéraux (respectivement 54 et 36% en moyenne) mais diffère au niveau de l'importance relative des algues ($\chi^2 = 11,97$, tableau

I). L'épreuve de la différence dans l'abondance relative des algues entre les stations 6 et 2 ($\chi^2 = 4,00$), qui donne un résultat significatif ($p \geq 0,95$), nous indique que l'alimentation des Lymnées des stations 3 et 6 est environ 3,5 fois moins riche en algues que celle des Lymnées des stations 2, 9 et 10. Toutefois, l'abondance relative des algues est la même aux stations 2,9 et 10 d'une part ($\chi^2 = 0,45$) et aux stations 3 et 6 d'autre part ($\chi^2 = 0,08$).

En ce qui concerne l'abondance relative des trois groupes d'algues dans les fèces de *L. catascopium catascopium* (tableau II), l'importance relative des Chrysophytes est comparable d'une station à l'autre (en moyenne 75%) mais celles des Chlorophytes et des Cyanophytes diffèrent entre les stations ($p \geq 0,99$). Les fèces des Lymnées des stations 3 et 6 renferment 3 fois plus de Chlorophytes que ceux des individus des stations 2,9 et 10 (différence entre les stations 6 et 9 significative au seuil de probabilité de 0,95, $\chi^2 = 4,36$). C'est à la station 10, que les fèces renferment le moins de

TABLEAU II

Abondance relative (% de n) des trois groupes d'algues dans les fèces de *L. catascopium catascopium* aux cinq stations.

N: nombre d'analyses (10 spécimens par analyse).

Algues (n)	Sta. 2	Sta. 3	Sta. 6	Sta. 9	Sta. 10	χ^2	d.l.
Chrysophytes	82,8	62,5	65,4	71,2	91,7	8,06	4
Chlorophytes	4,5	16,9	14,3	5,1	5,0	15,48**	4
Cyanophytes	12,7	20,6	20,3	23,7	3,3	16,82**	4
N	12	10	11	9	12	40,36**	8

** significativement différent au seuil de probabilité de 0,99.

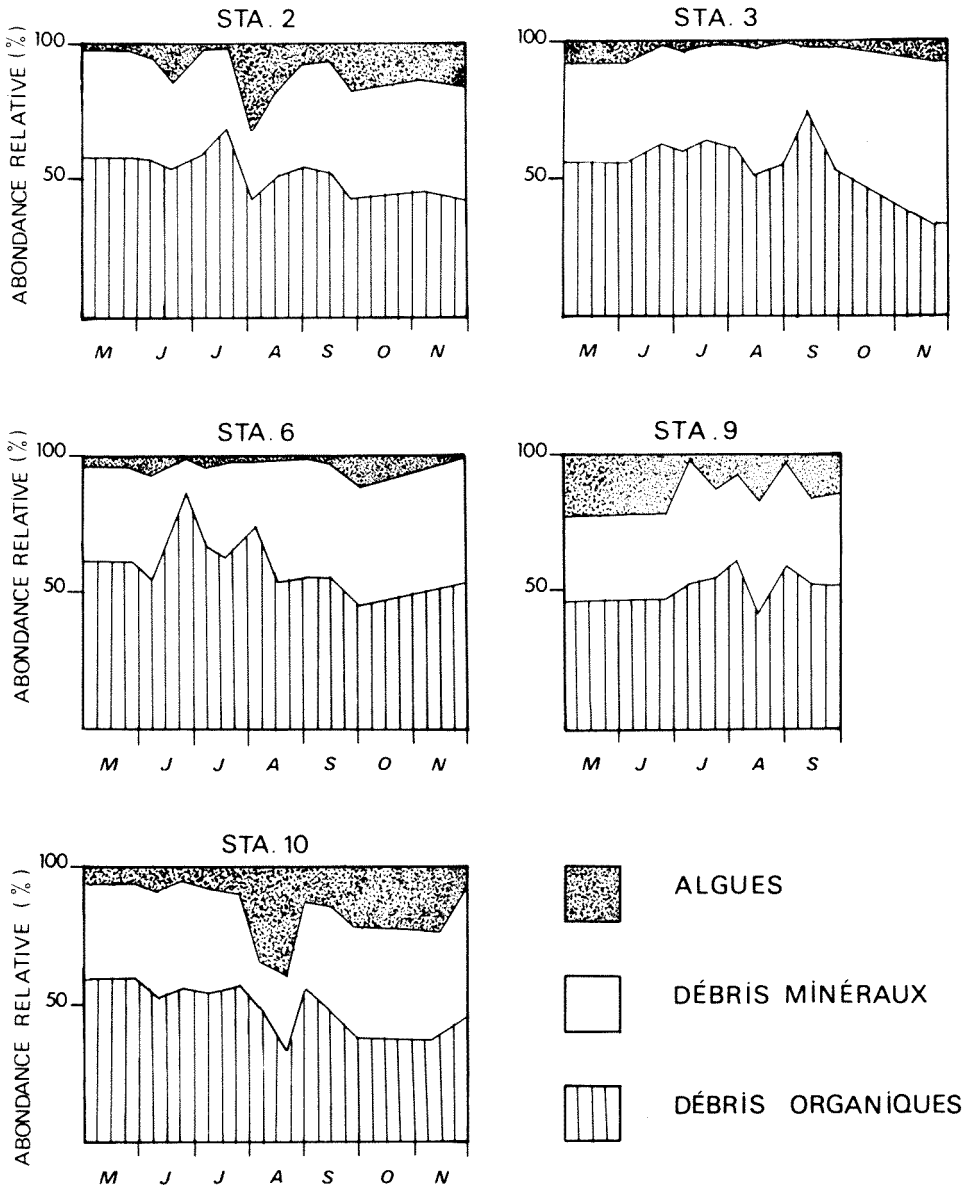


Figure 1. Variations saisonnières de l'abondance relative (%) des débris organiques et minéraux et des algues dans les fèces de *L. catascopium catascopium* aux cinq stations de prélèvement.

Cyanophytes (χ^2 entre les stations 2 et 10 = 5,52, significatif au seuil de probabilité de 0,95); les fèces des Lymnées de la station 2 en contiennent 4 fois plus, et ceux des Lymnées des stations 3, 6 et 9, 6 fois plus. Toutefois, l'abondance relative des Cyanophytes à la station 2, n'est pas significativement différente de celles calculées aux stations 3, 6 et 9 ($\chi^2 = 3,32$ entre les stations 2 et 9).

La figure 1 présente les variations saisonnières des trois principaux constituants des fèces de *L. catascopium catascopium*. La quantité d'algues est relativement plus importante au début août aux stations 2 et 10, cette augmentation s'associant à une baisse de l'importance relative des débris minéraux et organiques. Aux stations 3 et 6, les débris organiques sont relativement plus abondants durant l'été (respectivement en

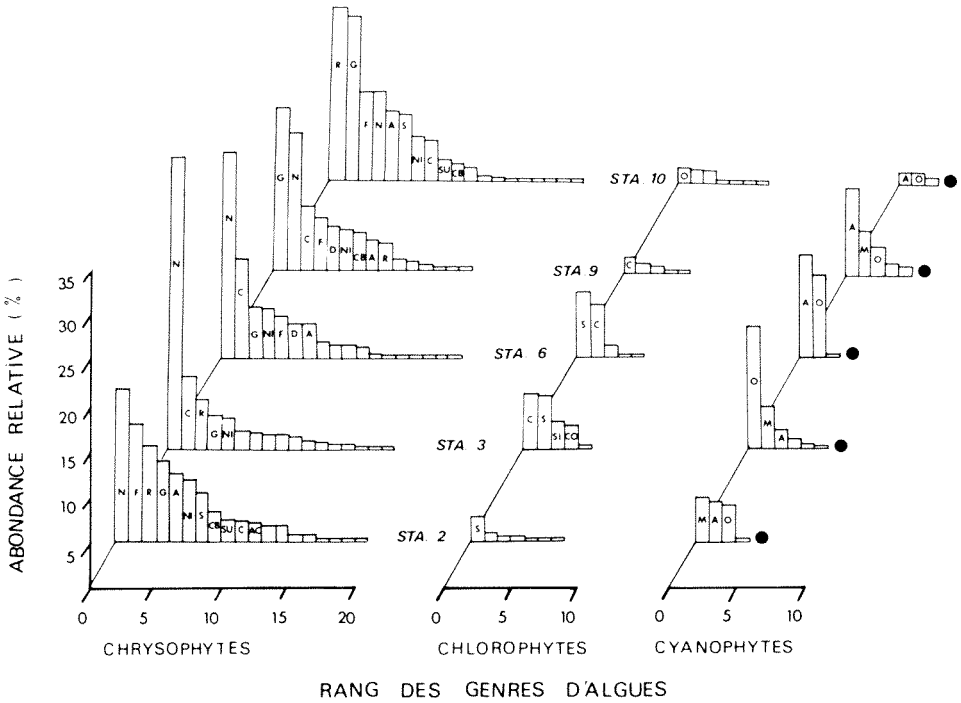


Figure 3. Abondance relative (> 2%) des 20 genres d'algues trouvés dans les fèces de *Lymnaea catascopium catascopium* aux cinq stations. Les lettres désignent les genres: CHRYSTOPHYTES: A: *Achnanthes*, AO: *Amphora*, C: *Cocconeis*, CB: *Cymbella*, D: *Diatoma*, F: *Fragilaria*, G: *Gomphonema*, N: *Navicula*, NI: *Nitzschia*, R: *Rhoicosphenia*, S: *Synedra*, SU: *Surirella*; CHLOROPHYTES: C: *Cladophora*, CO: *Cosmarium*, O: *Oedogonium*, S: *Scenedesmus*, ST: *Staurostrum*; CYANOPHYTES: A: *Anabaena*, M: *Merismopedia*, O: *Oscillatoria*. Les points noirs indiquent la présence d'*Aphanothece* sp.

septembre et en juin), l'abondance relative des algues restant toujours faible.

La figure 2 montre aussi que les diatomées (Chrysophytes) sont plus fréquentes en mai et juin; leur abondance relative diminue généralement à la fin juin (exception faite à la station 10) tandis que celle des Cyanophytes s'élève très fortement. Le même phénomène se reproduit à la mi-septembre aux stations 6 et 9 et à la fin novembre à la station 3.

NATURE DES ALGUES INGÉRÉES

L'importance des divers genres d'algues ingérées permet de préciser la qualité du genre d'alimentation des mollusques (Stanczykowska et al., 1972). Examinons tout d'abord les Chrysophytes (fig. 3). Aux stations 2 et 10 situées dans les eaux de la rivière des Outaouais, on trouve surtout des *Navicula*, des *Fragilaria*, des *Rhoicosphenia* et des *Gomphonema*. L'association

des genres *Navicula* et *Cocconeis* est plutôt caractéristique des stations 3 et 6 du Saint-Laurent. À la station 9 on observe une prédominance du genre *Gomphonema*. Parmi les Chlorophytes, *Scenedesmus* et *Cladophora* sont les genres les plus fréquents; notons toutefois que les *Cladophora* sont nettement plus nombreux dans les fèces des Lymnées des stations 3 et 6 que dans celles des spécimens des autres milieux. Les Cyanophytes *Oscillatoria*, *Anabaena* et *Merismopedia* sont les plus fréquemment trouvés.

Les Diatomées pennales épiphytiques ou épilithiques appartenant aux genres *Navicula*, *Fragilaria*, *Rhoicosphenia*, *Gomphonema*, *Cocconeis*, *Nitzschia*, *Achnanthes* et *Cymbella* sont les plus souvent ingérées tandis que les Diatomées centriques planctoniques appartenant aux genres *Melosira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus* et *Tabellaria* ne constituent qu'un pourcentage infime du régime alimentaire (>2%). Le nombre d'es-

TABLEAU III

Présence et nombre des espèces d'algues trouvées dans les fèces de *L. catascopium catascopium* à chaque station de prélèvement.

Espèce	Sta. 2	Sta. 3	Sta. 6	Sta. 9	Sta. 10
I Chrysophytes	38	38	41	35	37
<i>Cyclotella bodanica</i>	.	x	x	.	.
<i>Cyclotella comta</i>	.	.	x	.	.
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	x	.	.	.	.
<i>Cyclotella stelligera</i>	.	.	.	.	x
<i>Stephanodiscus binderanus</i>	x	x	x	x	x
<i>Melosira islandica</i>	x	.	x	.	x
<i>Melosira granulata</i>	.	.	x	.	x
<i>Melosira varians</i>	x	x	.	x	x
<i>Diatoma tenue</i>	.	x	x	x	.
<i>Diatoma vulgare</i>	x	x	x	x	x
<i>Fragilaria brevistriata</i>	.	.	x	.	.
<i>Fragilaria capucina</i>	x	x	x	x	x
<i>Fragilaria construens</i>	x	.	.	.	.
<i>Fragilaria crotonensis</i>	.	x	x	x	.
<i>Fragilaria leptostauron</i>	.	x	x	x	x
<i>Fragilaria pinnata</i>	x	x	x	x	x
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	x	x	x	x	x
<i>Synedra pulchella</i>	x	x	x	x	x
<i>Synedra ulna</i>	x	x	x	x	x
<i>Tabellaria fenestrata</i>	x	x	x	.	.
<i>Tabellaria flocculosa</i>	.	.	.	.	x
<i>Eunotia major</i>	.	.	.	.	x
<i>Eunotia pectinalis</i>	x	.	.	x	.
<i>Cocconeis placentula</i>	x	x	x	x	x
<i>Achnanthes clevei</i>	.	x	.	x	.
<i>Achnanthes lanceolata</i>	x	x	x	x	x
<i>Achnanthes minutissima</i>	x	x	x	x	x
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	x	x	x	x	x
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	x	.	.	.	x
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	.	x	.	.	.
<i>Navicula anglica</i>	x	.	x	.	x
<i>Navicula amphibola</i>	.	.	x	.	.
<i>Navicula bacillum</i>	.	.	.	x	.
<i>Navicula capitata</i>	x	x	.	x	.
<i>Navicula cincta</i>	.	x	.	.	.
<i>Navicula cryptocephala</i>	x	x	x	x	x
<i>Navicula graciloides</i>	x	.	.	.	.
<i>Navicula peregrina</i>	x	x	.	x	x
<i>Navicula pupula</i>	.	x	x	x	.
<i>Navicula radiosa</i>	.	.	x	.	.
<i>Navicula scutelloides</i>	.	x	.	x	.
<i>Navicula viridula</i>	.	x	x	x	x
<i>Amphora ovalis</i>	x	x	x	x	x
<i>Cymbella cistula</i>	x	x	x	x	x
<i>Cymbella prostrata</i>	x	x	.	x	x
<i>Cymbella sinuata</i>	x	x	.	x	x
<i>Cymbella turgidula</i>	x	.	x	.	x
<i>Cymbella ventricosa</i>	x	x	x	x	x
<i>Gomphonema acuminatum</i>	x	x	x	x	x
<i>Gomphonema major</i>	x	.	.	.	.
<i>Gomphonema olivaceum</i>	x	x	x	x	x
<i>Gomphonema parvulum</i>	x	.	x	.	x
<i>Epithemia sorex</i>	.	x	x	.	.
<i>Epithemia turgida</i>	x	.	.	.	x
<i>Rhopalodia rhopala</i>	.	.	x	.	.
<i>Nitzschia acicularis</i>	.	.	x	.	x
<i>Nitzschia amphibia</i>	x	x	x	x	x

TABLEAU III (suite)

Espèce	Sta. 2	Sta. 3	Sta. 6	Sta. 9	Sta. 10
<i>Nitzschia dissipata</i>	×	×	×	×	.
<i>Nitzschia intermedia</i>	.	.	×	.	.
<i>Nitzschia linearis</i>	×	.	×	.	.
<i>Nitzschia obtusa</i>	.	×	.	.	.
<i>Nitzschia polaris</i>	.	×	.	×	×
<i>Surirella elegans</i>	×	.	×	×	×
II Chlorophytes	8	7	8	7	12
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	×	.	.	.	.
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	.	.	.	.	×
<i>Scenedesmus armatus</i>	.	×	×	.	.
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	×	×	×	×	×
<i>Scenedesmus tenuispina</i>	.	.	.	×	.
<i>Pediastrum boryanum</i>	.	.	.	.	×
<i>Pediastrum duplex</i>	×	.	.	×	×
<i>Pediastrum simplex</i>	.	.	.	.	×
<i>Pediastrum tetras</i>	×	.	.	.	×
<i>Ulothrix</i> sp.	.	.	.	×	.
<i>Oedogonium</i> sp.	×	.	.	.	×
<i>Cladophora glomerata</i>	×	×	×	×	.
<i>Closterium aciculare</i>	.	×	×	.	×
<i>Cosmarium angulosum</i>	.	×	×	×	×
<i>Cosmarium margaritatum</i>	.	.	.	×	×
<i>Cosmarium sportella</i>	.	.	×	.	.
<i>Cosmarium turpinii</i>	×	.	.	.	.
<i>Staurastrum cingulum</i>	.	×	×	.	×
<i>Staurastrum paradoxum</i>	×	×	×	.	×
III Cyanophytes	5	8	4	6	5
<i>Merismopedia elegans</i>	×	×	.	×	×
<i>Aphanothece</i> sp.	×	×	×	×	×
<i>Lithococcus</i> sp.	.	×	.	×	.
<i>Rivularia</i> sp.	.	.	.	×	.
<i>Anabaena affinis</i>	×	×	×	×	×
<i>Anabaena spiroides</i>	.	×	.	.	×
<i>Oscillatoria prolifica</i>	×	×	×	.	.
<i>Oscillatoria spinosa</i>	.	.	.	×	×
<i>Spirulina jenneri</i>	×	×	×	.	.
<i>Lyngbia majuscula</i>	.	×	.	.	.
Nombre total	51	53	53	48	54

pèces d'algues identifiées dans les fèces des Lymnées (48 à 54) est assez semblable d'une station à l'autre (tableau III).

Discussion

Les Lymnées sont généralement considérées comme des organismes omnivores (Russell-Hunter, 1961; Owen, 1966; Monakov, 1972; Tsikhon-Lukanina, 1965): elles se nourriraient à la fois de végétaux, de détritus et d'organismes animaux. Nous n'avons nous-mêmes que rarement observé des organismes animaux dans les fèces de *L. catascopium catascopium* (Ciliés, tests de Rotifères); cela pourrait cependant provenir

du fait que la matière organique animale serait plus facilement digérée que la matière végétale. Monakov (1972) rapporte aussi que les Lymnées ingèrent en grande quantité des plantes aquatiques; ceci ne s'applique pas aux Lymnées du lac Saint-Louis qui en mangent peu et qui ne se tiennent d'ailleurs pas sur les macrophytes aquatiques. D'autres auteurs ont aussi noté la préférence des Lymnées pour les algues plutôt que pour les plantes vasculaires (Bovbjerg, 1965; Calow, 1970).

Parmi les autres Pulmonés du lac Saint-Louis, les Physidae semblent avoir un régime alimentaire plus varié que les Lymnaeidae. Au laboratoire, elles sont capables

TABLEAU IV

Abondance relative (% de n) des principales catégories alimentaires et groupes d'algues des contenus stomacaux des *Viviparus malleatus* et des fèces des *Lymnaea catascopium* c. à la station 10.

Éléments ou algues (n)	<i>L. catascopium catascopium</i> (présent travail)	<i>Viviparus malleatus</i> (Stanczykowska et al., 1972)
Débris organiques	49,6	70,0
Débris minéraux	34,5	10,0
Algues	15,9	20,0
Chrysophytes	91,7	88,2
Chlorophytes	5,0	2,3
Cyanophytes	3,3	0,4
Autres espèces	0,0	9,1
Nombre de spécimens observés (N)	120	270

TABLEAU V

Abondance relative moyenne (% de n) des algues contenues dans les contenus stomacaux de *Viviparus malleatus* et dans les fèces de *L. catascopium catascopium* à la station 10. Les genres de Chrysophytes dont l'importance est inférieure à 2% ne sont pas indiqués.

Algues (n)	<i>L. catascopium catascopium</i> (présent travail)	<i>Viviparus malleatus</i> (Stanczykowska et al., 1972)
Chrysophytes		
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	19,6	16,3
<i>Gomphonema</i> sp.	18,6	8,6
<i>Fragilaria</i> sp.	10,2	24,1
<i>Navicula</i> sp.	10,1	11,8
<i>Achnanthes</i> sp.	7,9	—
<i>Synedra</i> sp.	7,6	8,1
<i>Nitzschia</i> sp.	5,0	3,2
<i>Cocconeis</i> sp.	4,3	6,0
<i>Surirella</i> sp.	2,4	0,8
<i>Cymbella</i> sp.	2,0	3,1
Chlorophytes		
<i>Oedogonium</i> sp.	1,6	0,7
Cyanophytes		
<i>Anaboena</i> sp.	1,2	—
<i>Oscillatoria</i> sp.	1,3	0,4

de se nourrir uniquement de plantes vasculaires, montrant une préférence pour les élodées (Lacasse-Joubert, 1970). Dans le milieu naturel, leurs contenus stomacaux sont constitués de détritux, d'algues de toutes sortes (Diatomées, algues bleues et vertes), d'organismes animaux (Rotifères, Ostracodes, Cladocères, Arthropodes et Oligochètes) et de plantes vasculaires.

Stanczykowska et al., (1972) ont étudié le régime alimentaire du Prosobranch *Viviparus malleatus* à la station 10. Il nous a paru intéressant de comparer leurs résultats

avec ceux que nous avons obtenus chez *L. catascopium catascopium* à la même station (tableau IV). *Viviparus malleatus* semble ingérer plus d'algues et de débris organiques que *L. catascopium catascopium* dont les fèces contiennent par contre trois fois plus de débris minéraux. Cette différence peut d'abord s'expliquer par les différences d'habitat des deux espèces: *Viviparus malleatus* se tient en milieu profond (1 à 2m) et vaseux, tandis que *L. catascopium catascopium* se cantonne dans moins de 50 cm d'eau et dans les premiers mètres de la zone

littorale où abondent les roches. Elle pourrait aussi avoir une cause physiologique, car Carriker (1946) indique que la présence de grains de sable dans le gésier de *Lymnaea stagnalis appressa* est nécessaire à la trituration des aliments. Une autre explication serait l'utilisation de différentes méthodes d'analyses (contenus stomacaux chez *Viviparus malleatus* et fèces chez *Lymnaea catascopium*), car la matière organique aurait le temps d'être digérée chez les Lymnées durant le jeûne prolongé de quatre jours mais pas chez les Viviparidae qui étaient fixés au formol au moment de leur récolte. La proportion des différents types d'algues (Chrysophytes, Chlorophytes et Cyanophytes) est, par contre, sensiblement la même dans les contenus stomacaux de *Viviparus malleatus* et dans les fèces de *L. catascopium catascopium*. Ce sont aussi les mêmes genres d'algues qui dominent dans les deux cas (tableau V): les Chrysophytes dominantes sont *Rhoicosphenia*, *Fragilaria*, *Gomphonema* et *Navicula*; les algues benthiques épilithiques et épiphytiques (*Navicula*, *Rhoicosphenia*, *Gomphonema*, *Fragilaria*, *Achnanthes* et *Cymbella*) sont aussi rencontrées beaucoup plus fréquemment que les espèces pélagiques (*Melosira*, *Tabellaria*, *Cyclotella* et *Stephanodiscus*) qui sont pourtant abondantes dans le phytoplancton littoral (Alaerts-Smeesters et Magnin, 1974).

Chez certains Gastéropodes d'eau douce, on mentionne des préférences alimentaires (Bovbjerg, 1965; Favier-Gamulin, 1969; Calow, 1970, 1973 b) qui contredisent les affirmations de Boycott (1936) selon lequel «snails are indiscriminate feeders». Dans le lac Saint-Louis, les algues épilithiques les plus abondantes dans le milieu sont surtout des Chrysophytes des genres *Navicula*, *Gomphonema*, *Cocconeis*, *Rhoicosphenia*, *Synedra*, *Diatoma*, *Cymbella* et *Amphora* (Pinel-Alloul, 1975). Elles sont aussi les mieux représentées dans les fèces des Lymnées. Par contre les algues vertes, pourtant très importantes en été et représentées par le genre *Cladophora* aux stations 2, 3, 6 et 10 ne sont pas retrouvées dans les fèces en proportion égale. Deux explications peuvent être apportées à cette observation: les Lymnées sélectionnent leur type de nourriture en utilisant seulement les algues épiphytiques (en majorité des Diatomées) fixées sur les algues filamenteuses, ce qui a déjà été observé chez *L. peregra* (Calow, 1970); les algues vertes seraient plus facilement digérées que les Diatomées qui sont pro-

tégées par leur frustule silicieuse. Calow (1973 b) pense que le type de nourriture ingérée par les Gastéropodes est limitée par la nature de leur système digestif (radula, gésier): les Lymnées (*L. peregra*) préféreraient les algues vertes tandis que les Ancyliidae (*Ancylus fluviatilis*) préfèrent les Diatomées, car les premières possèdent un gésier moins musculeux que les seconds et seraient ainsi moins aptes à digérer les Diatomées. De plus amples recherches (comparaison quantitative du périphyton et des composants du bol alimentaire; expériences d'alimentation sélective au laboratoire) seraient nécessaires pour élucider ce problème.

Remerciements

Cette étude a pu être réalisée grâce à des subventions du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec. Nous tenons aussi à remercier Mme. E. Alaerst-Smeesters qui nous a assistés lors de l'identification des algues.

Références

- ALAERTS-SMEESTERS, E. et E. MAGNIN, 1974. Étude préliminaire du phytoplancton du lac Saint-Louis, élargissement du fleuve Saint-Laurent près de Montréal, Québec. — Can. J. Bot., 52: 489-501.
- BOVBJERG, R.V., 1965. Feeding and dispersal in the snail *Stagnicola reflexa* (Basommatophora, Lymnaeidae). — Malacologia, 2: 199-209.
- BOVBJERG, R.V., 1968. Responses to food in Lymnaeid snails. — Physiol. Zool., 41: 412-423.
- BOYCOTT, A.E., 1936. The habitats of freshwater Mollusca in Britain. — J. Anim. Ecol., 5: 116-186.
- BRUNDRITT, J.K., 1963. The dual nature of lake St. Louis, Québec. — Mémoire de Maîtrise, Univ. de Montréal, 110 p.
- CALOW, P., 1970. Studies on the natural diet of *Lymnaea peregra obtusa* (Kobelt) and its possible ecological implications. — Proc. Malacol. Soc. Lond., 39: 203-217.
- CALOW, P., 1973 a. Field observations and laboratory experiments on the general food requirements of two species of freshwater snail, *Planorbis contortus* (Linn.) and *Ancylus fluviatilis* (Müll.). — Proc. malac. Soc. Lond., 40: 483-489.
- CALOW, P., 1973 b. The food of *Ancylus fluviatilis* (Müll.): a littoral stonedwelling herbivore. — Oecologia, (Berl.), 13: 113-134.
- CARRIKER, M.R., 1946. Observations on the functioning of the alimentary system of the snail *Lymnaea stagnalis appressa* (Say). — Biol. Bull., 91: 88-111.

- CLAMPITT, P.T., 1963. The comparative ecology of the snails *Physa gyrina* and *Physa integra*. — Ph.D., St. Univ. Iowa, 81 p.
- CLAMPITT, P.T., 1970. Comparative ecology of the snails *Physa gyrina* and *Physa integra* (Basommatophora, Physidae). — *Malacologia*, 10: 113-151.
- EDMONDSON, W.T. and G.G. WINBERG, 1971. A manual on methods of the assessment of secondary productivity in freshwaters. — I.B.P. Handbook N° 17, Blackwell scientific publications, Oxford and Edinburgh, 358 p.
- FAVIER-GAMULIN, D., 1969. Influence de l'alimentation sur le cycle vital de *Gundlachia wauteri* (Mollusque, Basommatophore). — *Bull. Soc. linn. Lyon*, 10: 350-358.
- GALE, W.F. and R.L. LOWE, 1971. Phytoplankton ingestion by the fingernail clam, *Sphaerium transversum* (Say) in pool 19, Mississippi river. — *Ecology*, 52: 507-513.
- LACASSE-JOUBERT, E., 1970. Quelques aspects de l'anatomie, de la biologie et de l'écologie de *Physa gyrina* Say (Mollusque, Gastéropode, Pulmoné) du lac Saint-Louis, Québec. — Mémoire de maîtrise, Univ. de Montréal, 98 p.
- LEIGHTON, D. and R.A. BOOLOOTIAN, 1963. Diet and growth of the black abalone, *Haliotis crackerodii*. — *Ecology*, 44: 227-237.
- MAGNIN, E., 1970. Faune benthique littoral du lac Saint-Louis près de Montréal (Québec). I. Quelques données générales. — *Annls Hydrobiol.*, 1: 181-195.
- MANN, A., 1922. Suggestions for collecting and preparing diatoms. — *Proc. U.S. nat. Mus.*, 60: 1-8.
- MONAKOV, A.V., 1972. Reviews of studies on feeding of aquatic invertebrates conducted at the Institute of Biology of Inland Waters, Academy of Sciences, USSR. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 29: 363-383.
- ODUM, H.T. and A.E. SMALLEY, 1959. Comparison of population energy flow of a herbivorous and deposit feeding invertebrate in a salt marsh ecosystem. — *Proc. nat. Acad. Sci.*, 45: 617-622.
- OWEN, G., 1966. Feeding. In: Wilbur, K.M. and C.M. Yonge (Ed.) *Physiology of Mollusca*, 2: 1-51. Academic Press, N.Y. et Londres.
- PAGEAU, G. et L. LÉVESQUE, 1968. Le rôle des indices physico-chimiques dans la distribution des trois masses d'eau du lac Saint-Louis. — *Annls A.C.F.A.S. (Assoc. can.-fr. Av. Sci.)*, 35: 94.
- PAINE, R.T., 1963. Food recognition and prédation on Opisthobranchs by *Navanax inermis* (Gastropoda, Opisthobranchia). — *Veliger*, 6: 1-9.
- PAINE, R.T., 1965. Natural history, limiting factors and energetics of the Opisthobranch *Navanax inermis*. — *Ecology*, 36: 603-619.
- PINEL-ALLOUL, B., 1975. Étude écologique des Lymnaeidae (Mollusques, Gastéropodes, Pulmonés) du lac Saint-Louis près de Montréal, Québec. — Thèse de doctorat (Ph.D.) Univ. Montréal, 204 p.
- PINEL-ALLOUL, B. et E. MAGNIN, 1979. Cycle de développement, croissance et fécondité de cinq populations de *Lymnaea catascopium catascopium* Say (1817) (Gastropoda, Lymnaeidae) au lac Saint-Louis, Québec. — *Malacologia*, 19(1) (sous-presses).
- PLINSKI, M., W. LAWACZ, A. STANCZYKOWSKA et E. MAGNIN, 1978. Étude quantitative et qualitative de la nourriture des *Viviparus malleatus* (Reeve) (Gastropoda, Prosobranchia) dans deux lacs de la région de Montréal. — *Can. J. Zool.*, 56: 272-279.
- RUSSELL-HUNTER, W. R., 1961. Life cycle of four freshwater snails in limited populations in Loch Lomond with a discussion of infraspecific variation. — *J. Zool., (Lond.)*, 137: 135-171.
- STANCZYKOWSKA, A., 1959. Zagadnienie odżywiania się Zyworodki paskowanej (*Viviparus fasciatus* Müll.). (Some remarks on problems of nutrition of the *Viviparus fasciatus* Müll.). — *Ekol. Pol., Ser. B.*, 5: 271-273.
- STANCZYKOWSKA, A., M. PLINSKI et E. MAGNIN, 1972. Étude de trois populations de *Viviparus malleatus* (Reeve) (Gastropods, Prosobranchia) de la région de Montréal. II. Étude qualitative et quantitative de la nourriture. — *Can. J. Zool.*, 50: 1617-1624.
- TSIKHON-LUKANINA, E.A., 1965. Food and growth of freshwater gastropods mollusks. — *Trud. Inst. Biol. Vautr. Vodokhran Akad. Nauk. SSR*, 9: 191-209.
- WOLDA, H., A. SWEEP and K.A. SCHUITEMA, 1971. The role of food in the dynamics of populations of the land snail *Cepea nemoralis*. — *Oecologia*, 7: 361-381.
- ZHADIN, V.I., 1954. Mollyuski presnykh i solonovatykh vod SSSR. (Mollusks of fresh and brackish waters of the U.S.S.R.). *Opredeliteli po Faune SSSR, Israel Program of Scientific Translations Ltd., Jerusalem, Cat. No. 1258*, 368 p.

COMMUNAUTÉS ZOOPLANCTONIQUES D'UN PETIT LAC DE LA RADISSONIE

Bernadette PINEL-ALLOUL

Département des sciences biologiques
Université de Montréal, Montréal, H3C 3J7

Résumé

Cette étude porte sur le zooplancton limnétique et littoral d'un petit lac de la région de LG-2, territoire de la baie de James (53°27'50" N, 77°28'11" W). Les prélèvements ont été faits avec une bouteille Van Dorn (61) et le plancton recueilli était filtré dans un filet Wisconsin (153 μm). Le zooplancton limnétique et littoral est constitué de 23 à 37 espèces et est bien diversifié (2,72 à 3,29 bits/ind.). Bien que le peuplement des Rotifères soit particulièrement dense au centre et à la charge du lac, il ne représente toujours qu'une faible partie de la biomasse zooplanctonique. Ce sont les Cladocères, en particulier dans les stations littorales, qui constituent les plus fortes biomasses. Au centre du lac, la densité moyenne est de 121 ind./l avec un maximum de 312 ind./l et la biomasse estivale moyenne est de 491 et 1072 $\mu\text{g/l}$ (poids sec; période de juin à octobre) en 1974 et 1975. La densité maximale dans les stations littorales varie de 65 à 298 ind./l et les plus fortes biomasses sont observées en août lorsque les Cladocères sont les plus fréquents. La dynamique saisonnière au sein des peuplements de Cladocères, Copépodes et Rotifères de la communauté limnétique est aussi décrite.

Abstract

In an attempt to describe the limnetic and littoral zooplankton of a small lake near LG-2 (53°27'50" N; 77°28'11" W), James Bay territory, the plankton was sampled with a Van Dorn bottle (6 liters) and filtered through a Wisconsin net (mesh size 153 μm). The limnetic and littoral communities show a wide variety of species (23 to 37) and a good specific diversity (2,72 to 3,29 bits/ind.). Although Rotifera are the most abundant group in the center and at the tributary of the lake, they amount only to a very small part of the zooplankton biomass. Cladocera, particularly in the littoral zone, constitute the bulk of the biomass. In the center of the lake, the mean density is 121 ind./l with a maximum of 312 ind./l and the mean summer biomass is 491 and 1072 $\mu\text{g/l}$ (dry weight; June to October) in 1974 and 1975. The maximum of density in littoral communities range 65 to 298 ind./l and the greatest biomass are observed in August when the Cladocera are the most abundant. For the limnetic community, the seasonal succession of species in each group (Cladocera, Rotifera, Copepoda) is also described.

Introduction

Bien qu'elles soient actuellement sujettes aux aménagements hydroélectriques du Complexe La Grande, les communautés zooplanctoniques des lacs du nord du Québec sont encore très peu connues (Juday, 1927, 1930; Johansen, 1931 et Reed, 1963). Face à ces lacunes dans nos connaissances et aux besoins de définir les composantes biologiques des lacs du territoire de la baie de James, nous avons tout d'abord effectué en 1973, avec le concours logistique du Service environnement de la Société d'Énergie de la Baie James, un inventaire du zoo-

plancton limnétique des lacs et des rivières (Pinel-Alloul *et al.*, 1979) ce qui nous a permis de définir la typologie des lacs. Nous avons ensuite entrepris en 1974 et 1975, une étude spatio-temporelle des communautés zooplanctoniques de quatre lacs regroupés dans un secteur d'études écologiques (fig. 1) situé dans la région de LG-2 (deuxième barrage sur la rivière La Grande). Les buts de cette étude étaient de préciser la bio-écologie des principales espèces et les variations saisonnières de la structure des communautés.

Le présent travail porte sur les peuplements zooplanctoniques du plus petit lac du secteur: le lac Julie (fig. 1). La structure

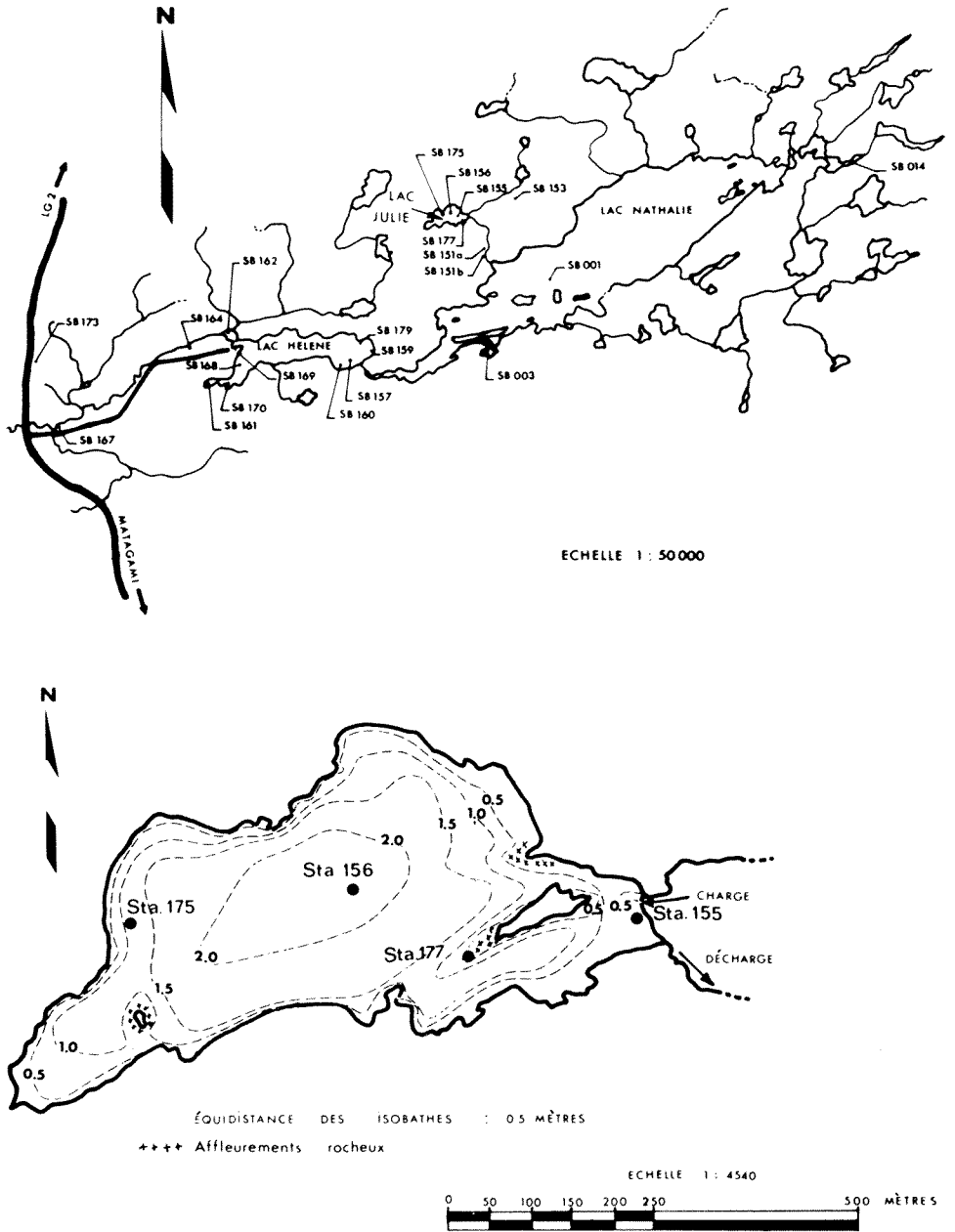


Figure 1. Secteur d'études écologiques (en haut); bathymétrie et emplacement des stations d'échantillonnage au lac Julie (en bas).

spécifique des communautés limnétiques et littorales y est définie; les variations saisonnières de la densité et de la biomasse zooplanctonique sont évaluées et la diversité des différentes communautés est calculée. Finalement, dans la zone limnétique, la dynamique saisonnière des divers peuplements est décrite.

Milieu d'étude

Le lac Julie (53°27'50" N, 77°28'11" W) (fig. 1), encavé dans une dépression naturelle peu accentuée, a 0,8 km de long et une surface de 13 ha; il est peu profond (Z max.: 2,5 m; \bar{Z} : 1,5 m). L'analyse physicochimique effectuée selon la méthodologie déjà décrite par Pinel-Alloul et Magnin (1978) révèle que les eaux y sont légèrement acides, transparentes, bien oxygénées et très peu minéralisées (tableau I).

Quatre stations ont été établies, l'une au centre du lac et les trois autres dans la zone littorale. La station 156 se situe dans la zone la plus profonde, sur un fond limoneux. La station 155, se localise au sud-est, entre le tributaire principal et l'émissaire dans 50 cm d'eau, à la limite d'un important herbier à laïche (*Carex* spp.) sur un fond de sable et de roches éparses; fait particulier, le substrat

comporte une couche mobile d'un «floculat» qui semble d'origine végétale. La station 175 est placée sur une pointe sablonneuse de la partie ouest du lac dans des colonies de laïches et de nénuphars; en superficie, le substrat est enrichi de débris de matière organique. Enfin, la station 177 est localisée sur un fond rocheux jonché de blocs erratiques du côté ouest de l'île à proximité de la charge du lac.

Matériel et méthodes

L'échantillonnage a été réalisé durant deux années consécutives du 4 juillet 1974 au 13 octobre 1975 à la fréquence d'un relevé par quinzaine en été (juin à novembre) et d'un relevé par mois en hiver (janvier à mai) aux stations 156 et 155. Les stations 175 et 177 ont seulement été échantillonnées durant l'été 1975. Les échantillons ont généralement été prélevés à un mètre sous la surface à toutes les stations sauf en 1975 où 3 prélèvements étaient recueillis dans la zone la plus profonde (0-1 m, 1-2 m, 2-2,5 m). L'analyse des échantillons n'ayant pas montré de différences significatives entre les profondeurs (Pinel-Alloul, 1977), les résultats présentés pour la zone profonde (Sta. 156) en 1975 correspondent à une intégration

TABLEAU I
Caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Julie.

Paramètres	Moyenne (1974-1975)	Extrêmes
Transparence (m)	1,8	1,2 — 2
Température (°C)	8,6	0 — 21
O ₂ dissous (mg/l)	10,2	8 — 12,7
% de saturation en O ₂	89,3	75 — 106
pH	6,5	5,9 — 6,8
Conductance (S/cm)	33,8	24 — 54
Bicarbonates (ppm)	11	9 — 14
Calcium (ppm)	4,2	3,3 — 6,5
Magnésium (ppm)	0,6	0,4 — 1,1
Sodium (ppm)	2,2	1,6 — 3,8
Potassium (ppm)	0,3	0,1 — 0,6
Chlorures (ppm)	2,0	1,1 — 3,1
Sulfates (ppm)	3,4	1,7 — 4,9
Fer (ppm)	0,29	0,17 — 1,25
Silice (ppm)	4,5	2,1 — 10,5
Carbone inorganique (ppm)	2,5	0,5 — 9,0
Carbone organique (ppm)	14,1	12 — 18
Phosphates (ppm)	—	<0,02 — 0,06
Phosphore total (ppm)	—	<0,02 — 0,08
Nitrates (ppm)	—	<0,1 — 0,9
Azote Kjeldahl (ppm)	0,27	0,14 — 0,43

tion des échantillons sur toute la colonne d'eau.

Un volume de six litres d'eau était recueilli avec une bouteille Van Dorn et le plancton était filtré dans un filet Wisconsin no. 25 (mailles de 153 μm). Il faut signaler ici, que l'efficacité de filtration du filet employé ne permet pas d'obtenir une bonne représentation des populations de Rotifères (Likens et Gilbert, 1970) et en sous-estime probablement la densité et la biomasse.

Au laboratoire, les comptages ont été faits au microscope inversé sur des sous-échantillons de 25 ml après sédimentation dans des chambres combinées. La densité des différentes espèces a été exprimée en nombre d'individus par litre. L'évaluation des biomasses des différentes espèces, exprimées en poids frais, a été faite à partir des estimations volumétriques de Nauwerck (1963) et des estimations en poids sec de Dumont *et al.* (1975), à l'exception des Cladocères *Polyphemus pediculus* et *Bosmina longirostris* dont les biomasses ont été calculées à partir des relations longueur-masse établies par Shcherbakov (1952) et Pechen (1965). Les longueurs moyennes des spécimens ont été estimées sur des sous-échantillons de 100 individus (L: 0,87 mm et 0,25 mm respectivement pour *P. polyphemus* et *B. longirostris*). La relation ($\frac{\text{PS}}{\text{PF}}$: 0,10)

établie par Edmondson et Winberg (1971) a été utilisée pour effectuer les conversions des poids secs (PS) en poids frais (PF).

La diversité (\bar{d} : bits/individu) a été calculée par la formule de Lloyd *et al.* (1968). Nous avons aussi calculé la mesure de la régularité («equitability», Lloyd et Ghelardi, 1964) de la distribution de fréquence des espèces, obtenue en comparant le \bar{d} trouvé à un \bar{d} théorique basé sur une distribution équitable des espèces.

Résultats

STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS ZOOPLANCTONIQUES

Les communautés zooplanctoniques du lac Julie regroupent un total de 46 espèces dont 19 Cladocères, 19 Rotifères et 8 Copépodes (fig. 2). La communauté limnétique (Sta. 156) est plus riche en espèces (37) que les communautés littorales (respectivement 23, 25 et 24 espèces aux stations 155, 175 et 177). Dans la figure 2, l'importance des

différentes espèces est exprimée en nombre (N) et en biomasse (M). À la station 156, *Conochilus unicornis* (1086 ind.), *Kellicottia longispina* (371 ind.), *Keratella cochlearis* (309 ind.) et *Synchaeta stylata* (248 ind.) associés à *Bosmina longirostris* (793 ind.) et les nauplies de Copépodes (1174 ind.) sont les espèces les plus fréquentes. Toutefois, ce sont d'autres espèces qui représentent les plus fortes biomasses: *Polyphemus pediculus* (33 600 μg), *Holopedium gibberum* (81 760 μg); seul le Cladocère *B. longirostris*, espèce dominante, forme aussi une biomasse importante (43 615 μg). Des espèces secondairement importantes en nombre (*Asplanchna priodonta*, *Leptodiptomus minutus*, *Cyclops scutifer*, *Diacyclops bicuspidatus thomasi*) ou plutôt rares (*Epischura lacustris*, *Leptodora kindtii*, *Sida crystallina* et *Latona parviremis*), du fait de leur grosse taille représentent des biomasses assez importantes (2188-19 683 μg).

La structure des communautés littorales varie d'une station à l'autre. Celle de la station 155 ressemble à la structure de la communauté limnétique; *Conochilus unicornis*, les nauplies de Copépodes, *Kellicottia longispina* et *Bosmina longirostris* (respectivement 106, 139, 58 et 67 ind.) y dominent numériquement tandis que les gros Cladocères *Polyphemus pediculus* (26 600 μg), *Sida crystallina* (10 080 μg), *Holopedium gibberum* (12 320 μg) associé à *Bosmina longirostris* (3 685 μg), *Asplanchna priodonta* (1 815 μg) et les Copépodes (6 972 μg au total) constituent la majorité de la biomasse. Aux stations 175 et 177, deux à trois Cladocères (*Polyphemus pediculus*: respectivement 160 et 76 ind.; *Bosmina longirostris*: 123 et 26 ind. et *Daphnia dubia*: 51 ind.) sont bien représentés en nombre et constituent aussi (en particulier *P. pediculus*: 224 000 μg et 106 400 μg aux stations 175 et 177) les plus fortes biomasses. Les espèces d'importance numérique secondaires (*Conochilus unicornis*, 180 ind. à la station 175; *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* et les Copépodes), à l'exception des Copépodes ne contribuent que très peu à la biomasse zooplanctonique littorale; seule *Asplanchna priodonta*, quoique rare, constitue une biomasse assez élevée (495 et 660 μg).

DENSITÉ ET BIOMASSE DU ZOOPLANCTON LIMNÉTIQUE ET LITTORAL

La densité et la biomasse du zooplancton limnétique (station 156) passent par

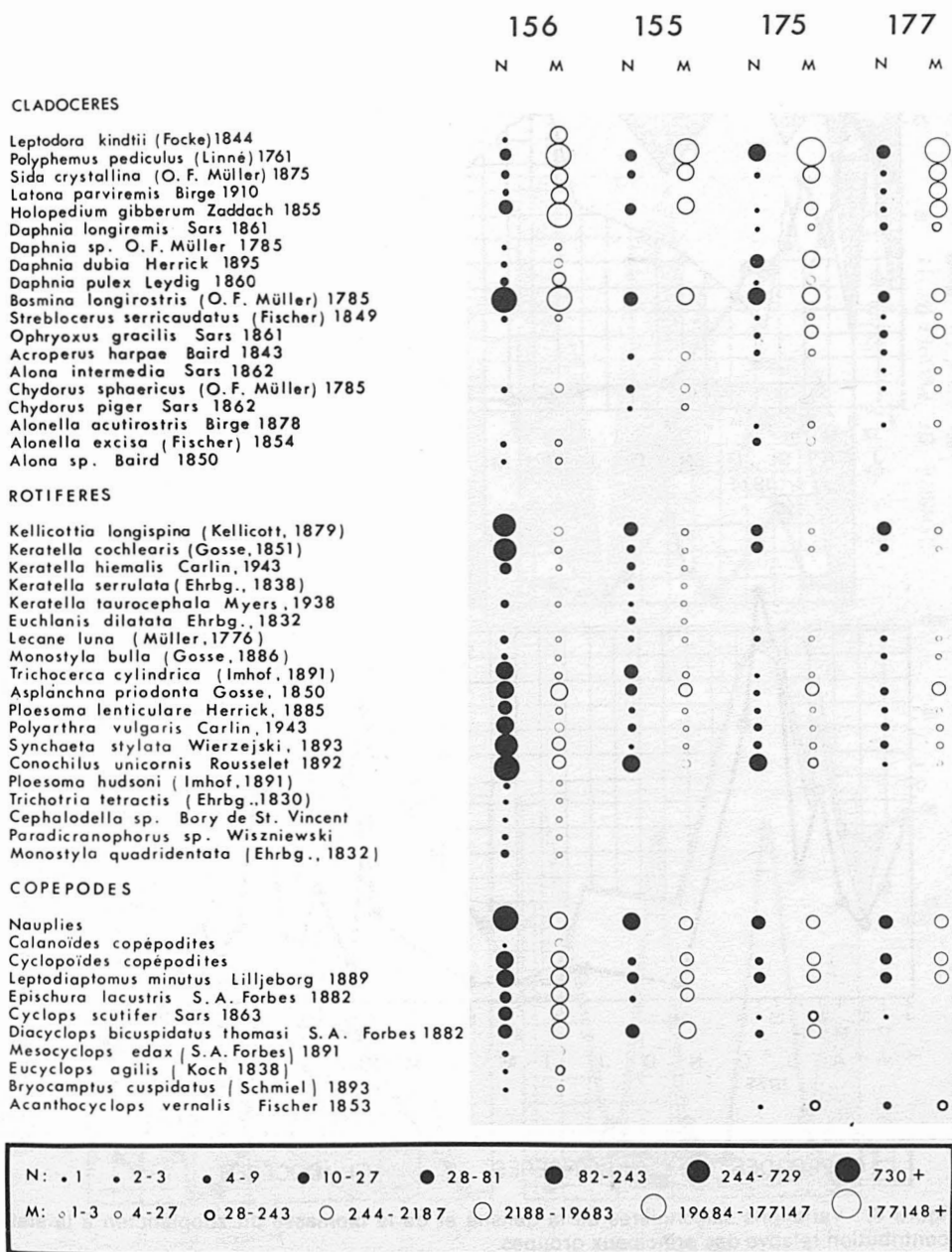


Figure 2. Abondance totale (N) en nombre d'individus et biomasse totale (M) en μg pendant toute la période d'échantillonnage des différentes espèces de zooplancton récoltés dans chaque station d'échantillonnage.

plusieurs maxima de juin à octobre et elles sont très faibles durant l'hiver (fig. 3). La densité est maximale à la fin juillet (312 ind./l) et à la fin août (242 ind./l) en 1974 puis à la fin juin (157 ind./l) et à la fin août (142 ind./l) en 1975. La densité moyen-

ne au cours de toute la période d'échantillonnage est de 121 ind./l. L'importance numérique relative des différents groupes varie au cours de la période d'échantillonnage. Les Copépodes sont relativement plus abondants en juin ou juillet, en septembre et

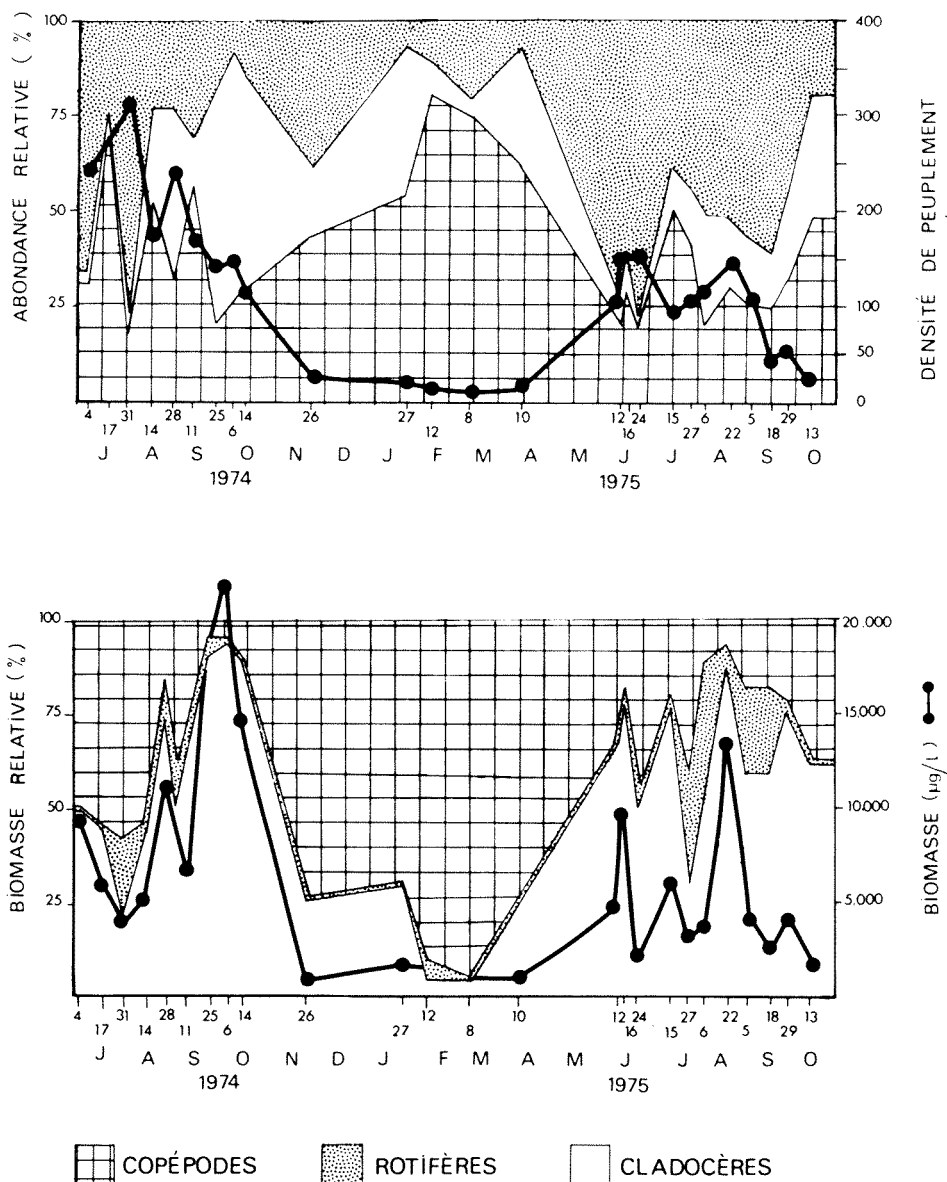


Figure 3. Variations saisonnières de la densité et de la biomasse du zooplancton à la station 156, et contribution relative des principaux groupes.

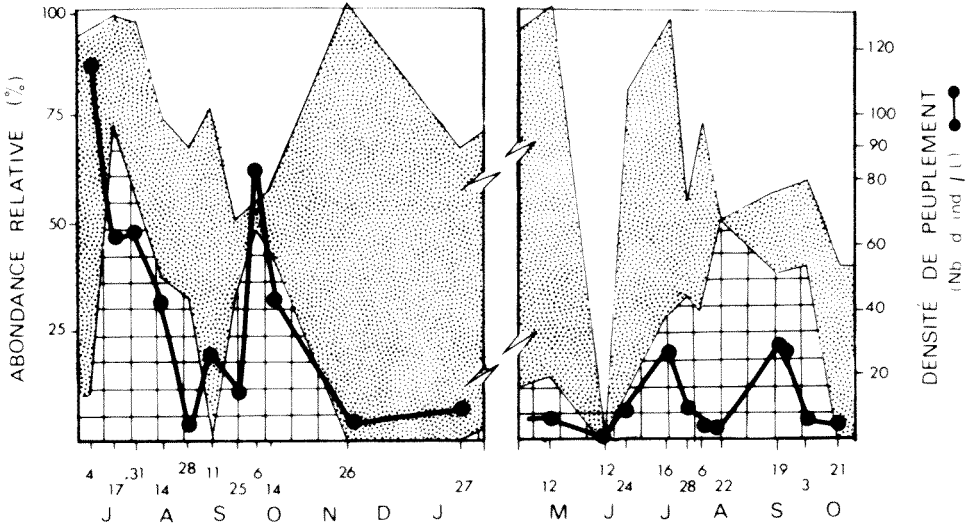
durant l'hiver; les Rotifères prédominent en juin et parfois à la fin d'août (1975) tandis que les Cladocères sont relativement plus fréquents en septembre et octobre (fig. 3).

Il y a généralement trois pics de biomasse au cours de chaque été: en juillet (9 279 μg), août (11 168 μg) et octobre (21 749 μg) 1974; en juin (9 683 μg), juillet (6 046 μg) et août (13 357 μg) 1975. La figure 3 qui indique aussi la biomasse relative de chacun

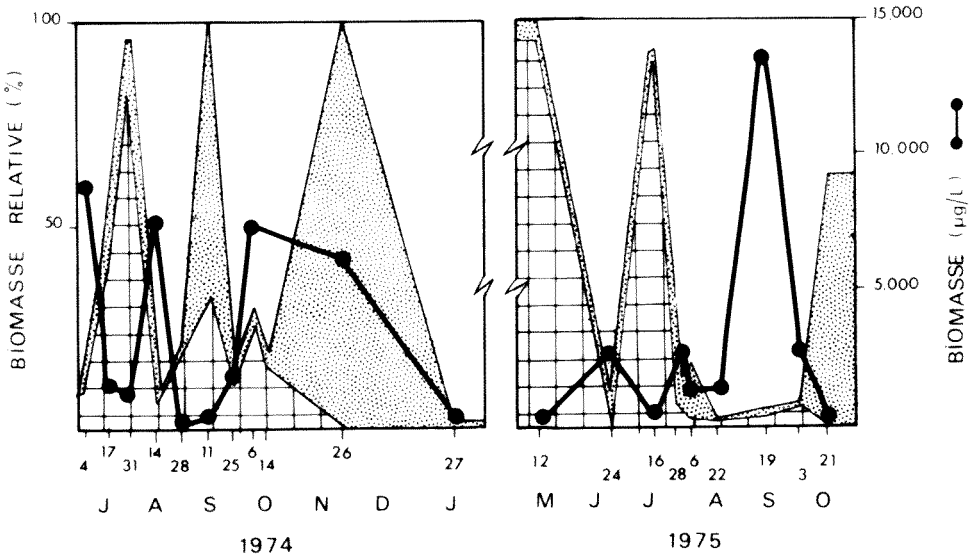
des peuplements révèle que les pics de biomasse observés correspondent exactement aux périodes où la biomasse de Cladocères augmente relativement à celle des Copépodes et des Rotifères. Ce sont d'ailleurs les Cladocères qui constituent la majorité de la biomasse zooplanctonique estivale; ils sont remplacés par les Copépodes durant l'hiver tandis que les Rotifères n'en présentent généralement qu'un faible pourcentage avec, toutefois, une légère augmentation en été.

STATION 155

-A-



-B-



COPÉPODES
 ROTIFÈRES
 CLADOCÈRES

Figure 4. Variations saisonnières de la densité et de la biomasse du zooplancton littoral et contribution relative des principaux groupes à la station 155.

Aux stations littorales, on observe généralement deux pics de densité en juin-juillet et en août ou septembre avec des maximums de 116 ind./l le 4 juillet à la station 155, de 298 ind./l le 26 juin 1975 à la station 175 et 65 ind./l le 22 août 1975 à la station 177 (figs. 4 et 5 A). Le premier pic d'abondance durant l'été coïncide avec une augmentation de l'importance numérique

des Rotifères (prédominance de *Conochilus unicornis* aux stations 155 et 175 et de *Kellicottia longispina* à la station 177); le second pic de densité est dû au développement des populations de Cladocères (*Bosmina Longirostris* en 1974 et *Polyphemus pediculus* en 1975) et des populations de Copépodes (Copépodites de *Diacyclops bicuspidatus thomasi* en 1974 à la station 155).

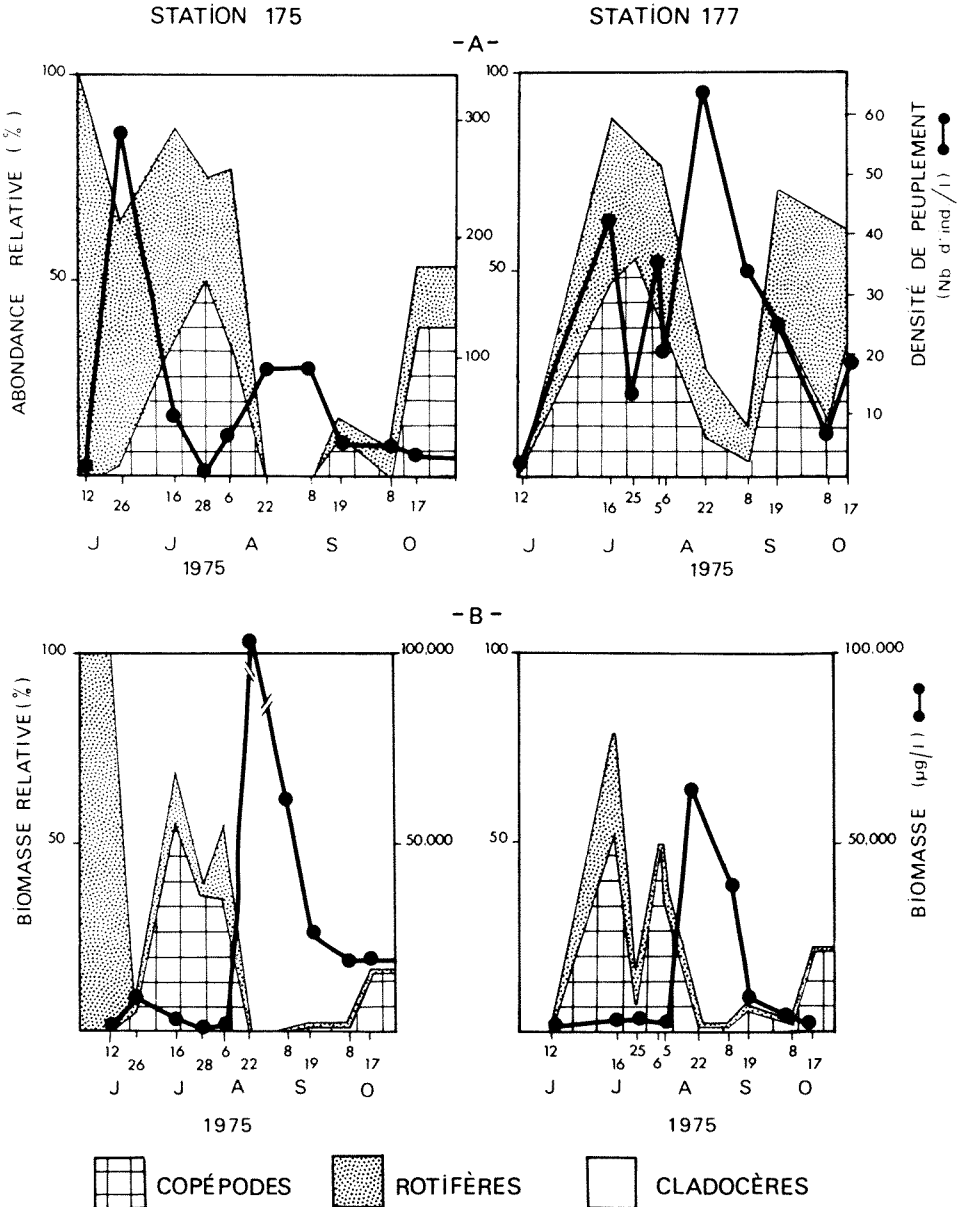


Figure 5. Variations saisonnières de la densité et de la biomasse du zooplancton littoral et contribution relative des principaux groupes aux stations 175 et 177.

En termes de biomasses (figs. 4 et 5 B), les stations littorales se singularisent par une forte augmentation de la biomasse zooplanctonique en août (en particulier en 1975), élévation qui fait écho à une augmentation de la biomasse relative du peuplement des Cladocères (en particulier celle de *Polyphemus pediculus*). Les Copépodes ne contribuent significativement à la biomasse zooplanctonique littorale qu'au début de l'été (mai, juin ou juillet) au moment de la production des nauplies et stades larvaires. Les Rotifères représentent presque toujours une

biomasse relative très faible ($\approx 1\%$), sauf lors de l'apparition d'*Asplanchna priodonta*.

DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DES PEUPEMENTS LIMNÉTIQUES

La dynamique saisonnière des peuplements limnétiques est étudiée en termes d'abondances relatives et de biomasses relatives des principales espèces de Cladocères, Rotifères et Copépodes (figs. 6, 7 et 8). Sur chacune des figures nous avons aussi indiqué la variation observée dans la densité des peuplements.

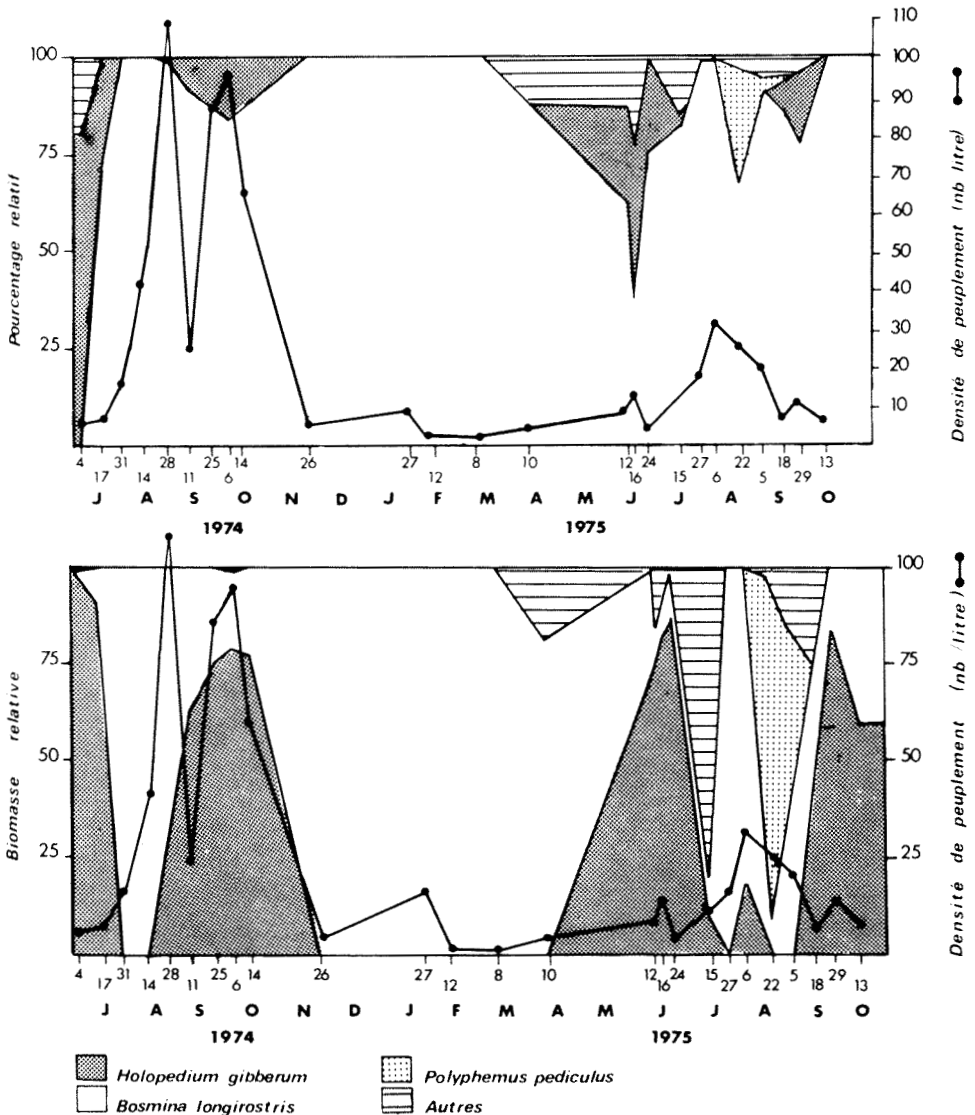


Figure 6. Abondance et biomasse relatives des différentes espèces de Cladocères de juin 1974 à octobre 1975 à la station 156.

La majorité des Cladocères sont des *Bosmina longirostris* (87%), dont le développement se poursuit durant toute la saison d'échantillonnage; *Holopedium gibberum* (8%) se développe surtout en juin et septembre et *Polyphemus pediculus* (3%), espèce

d'origine héléoplanctonique, émigre en petite quantité au sein de la communauté limnétique en août 1975 (fig. 6). En terme de biomasse, *Holopedium gibberum* devient l'espèce la plus importante (46% de la biomasse totale des Cladocères) alors que

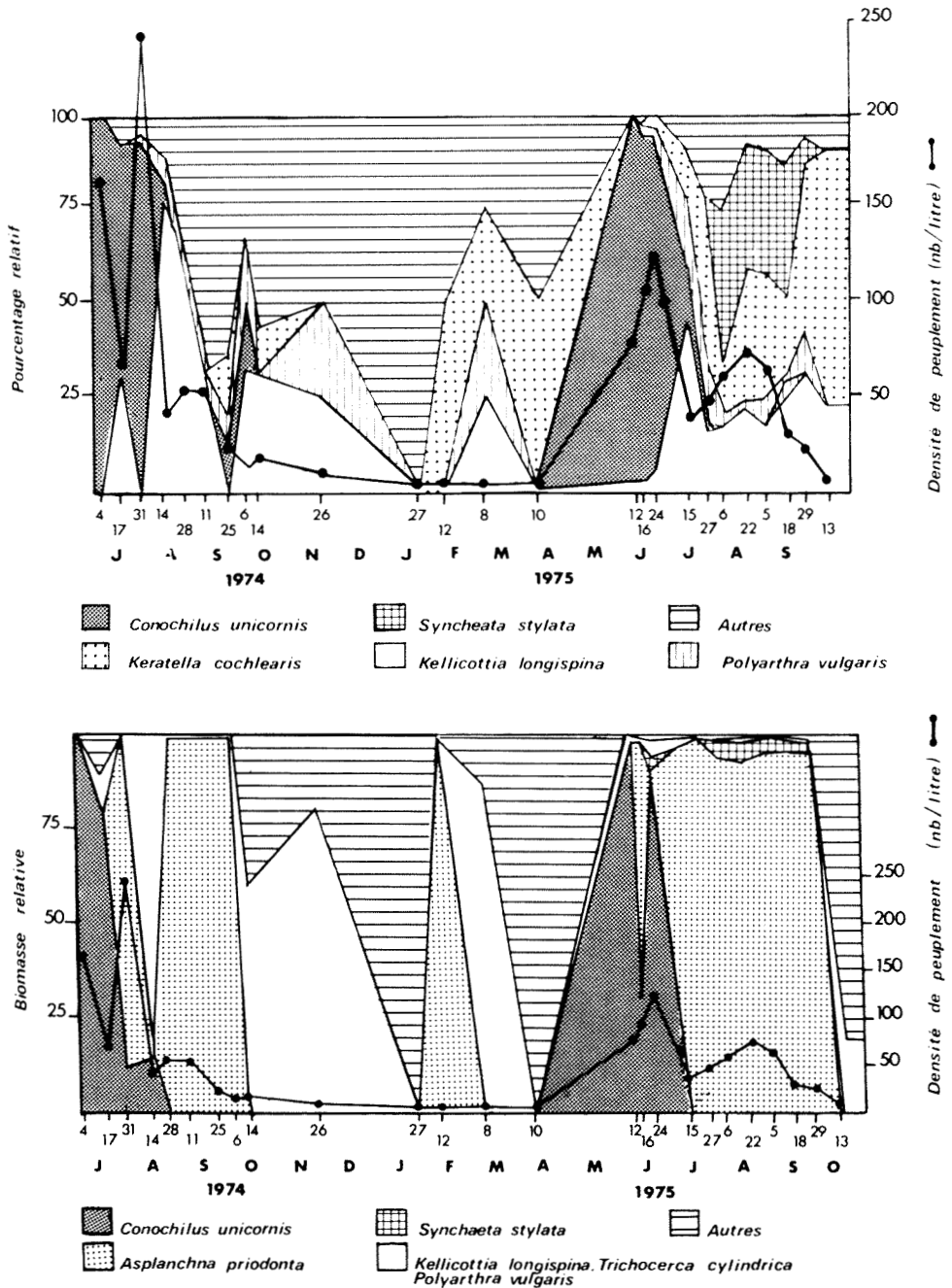


Figure 7. Abondance et biomasse relatives des différentes espèces de Rotifères de juin 1974 à octobre 1975 à la station 156.

Bosmina longirostris n'y contribue que pour 25%. Le 22 août 1975, *Polyphemus pediculus* représente 88% de la biomasse du peuplement et le 15 juillet 1975, un seul individu de l'espèce *Leptodora kindtii* en représente 78%.

Durant l'été, le peuplement des Rotifères passe par deux pics d'abondance (fig. 7). *Kellicottia longispina* (16% du peuplement), présente durant toute l'année, est cependant plus abondante durant l'été. *Conochilus unicornis*, le Rotifère le plus abondant (46%), est une espèce coloniale monocyclique qui n'apparaît qu'au printemps (98% du

peuplement le 4 juillet 1974 et 94% le 12 juin 1975). *Polyarthra vulgaris* lui succède durant l'été associé à *Keratella cochlearis*, celui-ci continuant son développement durant l'hiver. *Synchaeta stylata* est une espèce automnale dont la présence n'a été notée qu'en 1975. Durant l'hiver, lorsque la densité du peuplement est très faible, *Keratella hiemalis* est l'espèce la plus abondante. En biomasse, *Conochilus unicornis* est toujours l'espèce la plus importante au printemps (fig. 7) (99% le 4 juillet 1974 et 98% le 12 juin 1975), bien que sur l'ensemble des échantillonnages, elle ne représente

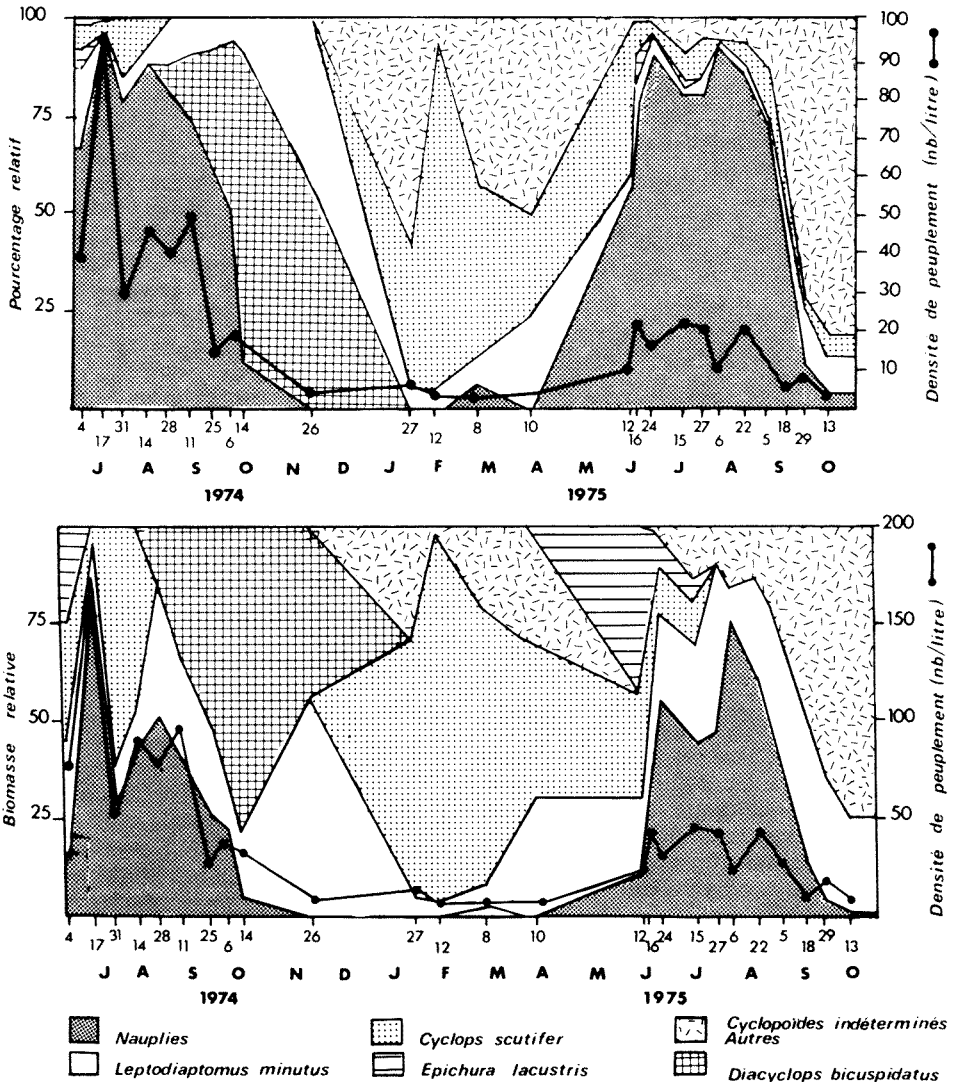


Figure 8. Abondance et biomasse relatives des différentes espèces de Copépodes de juin 1974 à octobre 1975 à la station 156.

que 2% de la biomasse. En effet *Asplanchna priodonta*, qui ne constitue que 4% des organismes, représente 94% de la biomasse totale. À chacune de ses apparitions sporadiques, elle constitue la majorité de la biomasse des Rotifères (>90%).

Les plus fortes densités de Copépodes sont toujours observées durant l'été à cause de l'importance numérique des nauplies (72% des Copépodes) (fig. 8). En été, les espèces les plus abondantes, *Leptodiaptomus minutus* (9%), *Diacyclops bicuspidatus thomasi* (5%) se développent puis disparaissent en hiver pour faire place à *Cyclops scutifer* (4%). *Epischura lacustris* et *Mesocyclops edax* sont deux espèces monocycliques printanières qui apparaissent en petits nombres en juin et juillet. Il existe une bonne concordance entre le diagramme d'importance numérique relative et le diagramme de biomasse relative des différentes espèces de Copépodes (fig. 8). Les nauplies ne contribuent toutefois qu'à 32% de la biomasse des Copépodes tandis que les copépodites et adultes deviennent plus importants. *Leptodiaptomus minutus* et *Cyclops scutifer* contribuent à près du quart de la biomasse des Copépodes (respectivement 22 et 21%). *Diacyclops bicuspidatus thomasi*, cyclopoïde de petite taille, n'en représente que 7% tandis que le calanoïde *Epischura lacustris*, quoique rare (1%), du fait de sa grosse taille, représente aussi 7% de la biomasse.

DIVERSITÉ DES COMMUNAUTÉS ZOOPLANCTONIQUES

Au cours de la période d'échantillonnage, l'indice de diversité calculé pour la communauté limnétique (tableau II) varie de 1,06 (31 juillet 1974) à 3,23 (15 juillet 1975). Les plus faibles diversités sont obtenues en hiver lorsque le nombre d'espèces dans la communauté est faible et au début de la saison estivale (juin-juillet) lorsque la communauté zooplanctonique est dominée par le Rotifère *Conochilus unicornis* (fig. 7). Cette dominance est d'ailleurs reflétée par les valeurs de l'équitabilité (0,23 — 0,36).

Les indices de diversité calculés pour toute la période d'échantillonnage dans chacune des stations sont généralement élevés (2,72 — 3,29), bien que les communautés littorales regroupent un plus petit nombre d'espèces (tableau III). L'équitabilité est plus variable (0,35 — 0,58), mais généralement faible, ce qui signifie que les espè-

TABLEAU II

Variations de la diversité de la communauté zooplanctonique limnétique du lac Julie en 1974 et 1975.

Dates	\bar{d}	N	e
1974			
04-07	1,11	9	0,33
17-07	2,04	8	0,75
31-07	1,06	7	0,43
14-08	2,00	7	0,71
28-08	1,92	8	0,62
11-09	2,75	10	0,90
25-09	2,02	10	0,50
06-10	1,88	10	0,50
14-10	2,10	8	0,75
26-11	2,70	7	1,3
1975			
27-01	1,49	4	1,0
12-02	1,34	5	0,27
08-03	2,29	7	0,86
10-04	2,19	6	1,0
12-06	1,44	11	0,36
16-06	1,79	18	0,28
24-06	1,11	13	0,23
15-07	3,23	21	0,67
27-07	2,72	12	0,75
06-08	2,47	12	0,67
22-08	2,66	12	0,75
05-09	2,67	12	0,75
18-09	2,86	12	0,83
29-09	2,78	12	0,73
13-10	1,96	6	0,83

\bar{d} : indice de diversité (bits/individu); N: nombre d'espèces;
e: équitabilité

TABLEAU III

Diversité des communautés zooplanctoniques du lac Julie.

Stations	\bar{d}	N	e
156	3,20	37	0,35
155	3,29	23	0,58
175	2,72	25	0,36
177	3,26	24	0,58

\bar{d} : indice de diversité (bits/individu); N: nombre d'espèces; e: équitabilité. Les indices sont calculés sur les densités totales observées pendant toute la période d'échantillonnage.

ces n'ont pas une distribution équitable et que les communautés, en particulier celles des stations 156 et 175, sont dominées par

quelques espèces (*C. unicornis*, *B. longirostris* et *K. longispina* aux stations 156 et 155, *P. pediculus*, *B. longirostris* ou *K. longispina* aux stations 175 et 177) (fig. 2).

Discussion

Les éléments dominants du zooplancton du lac Julie (*B. longirostris* *H. gibberum*, *P. pediculus*, *C. unicornis*, *K. longispina*, *L. minutus*, *D. bicuspidatus thomasi*) sont tous des espèces bien réparties à travers les lacs du territoire de la Baie James (Pinel-Alloul et al., 1979) et les lacs du bouclier canadien comme les lacs du nord-ouest Ontarien (Patalas, 1971; Schindler et Noven, 1971), les lacs de la région du réservoir Churchill Falls (Duthie et Ostrofsky, 1974) et deux petits lacs terre-neuviens (Davis, 1973, 1976). La structure de la communauté limnétique (13 Cladocères, 17 Rotifères, 7 Copépodes) est très proche de celle décrite dans les lacs de faible profondeur et non stratifiés de la région de Churchill Falls (13 Cladocères, 21 Rotifères, 9 Copépodes) (Duthie et Ostrofsky, 1974); ce sont aussi les mêmes espèces qui y dominent à l'exception de *Bosmina longirostris* remplacée par *Bosmina coregoni*.

Comme dans les lacs du nord-ouest ontarien et au Labrador, les Rotifères constituent l'élément dominant (48%), au point de vue nombre, du zooplancton limnétique du lac Julie (fig. 2). Bien qu'ils ne représentent qu'un faible pourcentage (7%) de la biomasse zooplanctonique à la baie de James comme dans deux petits lacs de la région ELA (lacs 122 et 132: surface: 12, 2 et 7,2 ha; prof. max: 7,2 et 3,3 m) où ils en constituent 12% (grandeur des mailles du filet: 28 μ) (Schindler et Noven, 1971), ils sont probablement les plus forts producteurs ainsi que l'a montré Schindler (1972) au lac 239 de la région ELA où les Rotifères sont un taux de production (rapport P/B = 0,35 avec un maximum de 0,80) 7 fois plus élevé que celui des crustacés (P/B = 0,05) et constituent 67% de la biomasse zooplanctonique. Dans notre étude, il est probable que l'abondance et la biomasse des Rotifères soient sous-estimées car il est possible que les formes molles et petites (sans thèques) passent à travers les mailles du filet utilisé (153 μ) où soient détruites lors de la fixation. En effet, d'autres études effectuées en 1977 dans un petit réservoir situé à proximité du secteur d'études écologiques, avec une trappe Patalas (50 μ) et sur des échantillons non fixés, ont permis la capture d'un plus grand nombre d'espèces.

Pennak (1966) a montré que dans les communautés zooplanctoniques des zones littorales des lacs du Colorado, on ne retrouvait qu'une seule espèce dominante au sein des divers peuplements. Au lac Julie, nous observons le même phénomène chez le peuplement des Cladocères où *Bosmina longirostris* domine à la station 155 (67 ind.) et *Polyphemus pediculus* aux stations 175 et 177 (160 et 76 ind.). L'énoncé de Pennak est aussi applicable au zooplancton limnétique si l'on envisage la structure de la communauté à chaque date de prélèvement, une espèce dominante printanière (*C. unicornis*), laissant la place à une espèce estivale (*K. longispina*), cette dernière faisant à son tour place à une espèce hivernale (*Synchaeta stylata*).

Le lac Julie est plus densément peuplé que les deux autres lacs du secteur d'études écologiques (fig. 1) qui ont été étudiés conjointement. (Pinel-Alloul, 1976, 1977; Magnin, 1978). Les résultats obtenus aux lacs Hélène et Nathalie seront publiés ultérieurement, mais nous pouvons cependant indiquer que la densité moyenne calculée au lac Julie, petit et peu profond (121 individus par litre) est beaucoup plus élevée que celles calculées aux lacs Hélène (surf: 117 ha, prof. max: 7 m, densité: 39 individus par litre) et Nathalie (surf: 845 ha, prof. max: 56 m, densité: 25 individus par litre). Ces résultats correspondent à des unités de volume de l'épilimnion car la zone photique s'étend jusqu'au fond aux lacs Julie et Hélène et la colonne d'eau étudiée au lac Nathalie correspond à 10 m qui est l'épaisseur de l'épilimnion. Les tourbières reticulées du territoire supportent aussi une forte densité zooplanctonique (Pinel-Alloul et Magnin, 1978); calculées sur une même période (juin à octobre 1974), les densités totales des peuplements de Cladocères, Copépodes et Rotifères sont de 137 individus par litre dans la tourbière reticulée et 183 individus par litre au lac Julie; en 1975, sur la même période, mais sur toute la colonne d'eau (2,5 m), la densité calculée au lac Julie est de 99 individus par litre. En éliminant les Rotifères qui représentent environ 50% du zooplancton, nous obtiendrions 19,5, 12,5 et 60 individus par litre comme densités moyennes des crustacés planctoniques respectivement aux lacs Hélène, Nathalie et Julie, valeurs équivalentes à celles observées par Davis (1976) dans deux lacs terre-neuviens.

Nous avons comparé les biomasses obtenues au lac Julie avec celles rapportées par

Schindler et Noven (1971) pour des lacs de la région de ELA, sachant que ces comparaisons doivent être envisagées avec réserves. En effet, les estimations de biomasse des Cladocères et des Copépodes varient d'un auteur à l'autre. Nous avons utilisé celles de Dumont *et al* (1975) qui sont légèrement supérieures à celles utilisées par Schindler et Noven (1971). De plus, nous avons employé le facteur de conversion de 10% (poids sec/poids frais) tel que conseillé par Edmondson et Winberg (1971) tandis que Schindler a pris un facteur de 6% pour les crustacés et un facteur de 1 (*Asplanchna* sp.) à 5% pour les Rotifères. S'ajoute à ces causes de variations, le fait que le filet utilisé (153 μm) au cours de cette étude laisse passer les plus petits organismes, en particulier les Rotifères. Les comparaisons ont été faites en poids sec sur la période de mai à octobre, la biomasse produite durant l'hiver étant négligeable; les biomasses zooplanctoniques moyennes produites à la station limnétique du lac Julie assumant un facteur de conversion de 10%, seraient alors de 1 072 $\mu\text{g/l}$ en 1974 et 491 $\mu\text{g/l}$ en 1975 tandis que celles rapportées par Schindler et Noven (1971) sont de 81 $\mu\text{g/l}$ au lac 122 (surf: 12,2 ha, prof. max: 12 m) et de 169 $\mu\text{g/l}$ au lac 132 (surf: 7,2 ha; prof. max: 8 m). Les valeurs obtenues au lac Julie, quoique probablement surestimées par rapport à celles des lacs de la région ELA, sont très proches de celles calculées pour des lacs eutrophes de Suède (540 $\mu\text{g/l}$) et des États-Unis (1126 et 540 $\mu\text{g/l}$) (Nauwerck, 1963; Wright, 1958) mais elles sont quatre fois plus faible que celle des tourbières reticulées de la baie de James où la biomasse moyenne est de 4 309 $\mu\text{g/l}$ durant l'été 1974 (Pinel-Alloul et Magnin, 1978). L'évaluation des biomasses zooplanctoniques aux lacs Hélène et Nathalie permettra sûrement d'effectuer des comparaisons plus précises; toutefois, parmi les lacs du territoire de la baie de James, le lac Julie caractérise le stade trophique le plus évolué, représentatif des petits lacs peu profonds et riches en végétation aquatique.

Les successions notées au sein des divers peuplements sont conformes à celles observées ailleurs sur le Bouclier canadien. Chez les Cladocères, *Bosmina longirostris* est une espèce pérenne comme dans les lacs du nord-ouest Ontarien (Schindler et Noven, 1971), les étangs de la baie Georgienne (Carter, 1971, 1972) et le lac Érié (Watson, 1976). *Holopedium gibberum* a un développement

monocyclique printanier au lac supérieur (Selgeby, 1975), dans les étangs de la baie Georgienne (Carter, 1971, 1972), le lac 122 de la région ELA (Schindler et Noven, 1971) et les lacs terre-neuviens (Davis, 1976), mais elle peut aussi, dans les mêmes régions, présenter un développement avec deux pics d'abondance (Davis, 1972); le premier en juin et le second en septembre comme au lac Julie. Chez les Rotifères, *Conochilus unicornis*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* et *Polyartha vulgaris* ont la même dynamique saisonnière que dans les lacs de la région ELA (Schindler et Noven, 1971) et de Terre neuve (Davis, 1973). Toutefois, dans cette dernière région *P. vulgaris* est plus abondant de mars à mai (Davis, 1972) tandis qu'à la baie de James, son nombre est plus élevé en automne. Chez les Copépodes, *Leptodiaptomus minutus* et *Diacyclops bicuspidatus thomasi* se reproduisent durant tout l'été comme en témoigne l'abondance de nauplies (fig. 8). Le fait que nous n'ayons pas identifié séparément les nauplies de calanoïdes et de cyclopoïdes ne nous permet pas de définir leurs cycles de développement mais ces deux espèces peuvent produire deux ou trois générations durant l'été au lac Érié (Davis 1961) et dans d'autres lacs du Bouclier canadien (Schindler, 1972; Schindler et Noven, 1971, Davis, 1972, 1973) ou encore avoir un développement monocyclique plus au sud ainsi qu'*Epischura lacustris* et *Mesocyclops edax* (Selgeby, 1975, Carter, 1974).

L'indice de diversité moyen de la communauté limnétique du lac Julie est de 3,20 valeur supérieure à la diversité zooplanctonique des lacs du territoire (2,37) inventoriés en 1973 (Pinel-Alloul *et al.*, 1979), ce qui s'explique aisément compte tenu du fait que le lac Julie a été échantillonné durant deux années consécutives tandis qu'en 1973, les lacs n'ont été visités qu'une à trois fois durant l'été. Il est par contre plus faible que l'indice de diversité zooplanctonique calculé en 1974 dans une tourbière reticulée du secteur d'études écologiques (3,87), où l'on avait 41 espèces (Pinel-Alloul, 1976).

Conclusion

Le lac Julie, représentatif du stade trophique le plus évolué des lacs du territoire de la baie de James, abrite des peuplements zooplanctoniques comparables aux lacs du nord-ouest Ontarien et du Labrador tant au point de vue de leur composition spécifi-

que que de leur structure (nombre de Cladocères, Copépodes et Rotifères). Les espèces limnétiques numériquement dominantes (*Conochilus unicornis*, *Bosmina longirostris*, les nauplies de Copépodites et *Kellicottia longispina*) ne sont pas celles qui contribuent majoritairement à la biomasse zooplanctonique, ce sont en effet les Cladocères, *Polyphemus pediculus* et *Holopedium gibberum* associé à *Sida crystallina* et *Bosmina longirostris*, qui constituent la majorité de la biomasse (70 à 99%). La densité zooplanctonique moyenne est beaucoup plus forte que celles des plus grands lacs du secteur d'études mais se compare à celle des tourbières réticulées du territoire. La biomasse moyenne (période de juin à octobre) se rapproche de celles calculées pour des lacs eutrophes de Suède et des États-Unis mais elle est environ quatre fois plus faible que dans les tourbières réticulées. Enfin les successions saisonnières observées au sein des divers peuplements sont conformes à celles notées ailleurs sur le Bouclier canadien.

Remerciement

Ce travail a pu être réalisé grâce au concours des biologistes et techniciens du Service environnement de la Société d'Énergie de la Baie James, qui se sont chargés de l'échantillonnage. Mme. France Guimont-Gagnon a préparé les figures et Mlle Claudette Blanchard a dactylographié le texte. À tous, nous disons notre sincère gratitude.

Références

- CARTER, J.C.H., 1971. Distribution and abundance of planktonic Crustacea in ponds near Georgian Bay (Ontario, Canada) in relation to hydrography and water chemistry. — *Archs Hydrobiol.*, 68(2): 204-231.
- CARTER, J.C.H., 1972. Distribution and abundance of planktonic Crustacea in Sturgeon Bay and Shawanaga Inlet, Georgian Bay, Ontario.-J. Fish. Res. Bd Canada, 29: 79-83.
- CARTER, J.C.H., 1974. Life cycles of three limnetic copepods in a beaver pond.-J. Fish. Res. Bd Canada, 31: 421-434.
- DAVIS, C.C., 1961. Breeding of Calanoid Copepods in lake Erie. — *Verh. int. Ver. Limnol.*, 14: 933-942.
- DAVIS, C.C., 1972. Plankton succession in a Newfoundland Lake. — *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 57(3): 367-395.
- DAVIS, C.C., 1973. A seasonal quantitative study of the plankton of Beauline Long Pond, a Newfoundland Lake. — *Naturaliste can.*, 100: 85-105.
- DAVIS, C.C., 1976. Simultaneous quantitative comparison of planktic Crustacea in two Newfoundland Boreal Lakes. — *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 61(6): 807-823.
- DUMONT, H.J., I. VAN DE VELDE and S. DUMONT, 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental Waters. — *Oecologia*, (Berl.) 19: 75-97.
- DUTHIE, H.C. and M.L. OSTROFSKY, 1974. Plankton chemistry and physics of lakes in the Churchill Falls region of Labrador. — *J. Fish. Res. Bd Canada*, 31: 1105-1117.
- EDMONSON, W.T. and G.G. WINBERG (ed.), 1971. IBP Handbook n° 17. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters. — Blackwell Scientific Publications. Oxford and Edinburgh, 368 p.
- JOHANSEN, F., 1931. Observations on Canadian freshwater Crustacea. — *Can. Field-Nat.*, 45: 80-83.
- JUDAY, C., 1927. Freshwater Cladocera from the east shore of Hudson and James Bay. — *Can. Fld Nat.*, 41: 130-131.
- JUDAY, C., 1930. Freshwater Cladocera from southern Canada, collected by F. Johansen in 1925-26. — *Can. Fld Nat.*, 44: 69-70.
- LIKENS, G.E. and J.J. GILBERT, 1970. Notes on the quantitative sampling of planktonic rotifers. — *Limnol. Oceanogr.*, 15: 816-820.
- LLOYD, M. and R.J. GHALARDI, 1964. A table for calculating the equitability component of species diversity. — *J. Anim. Ecol.*, 33: 217-225.
- LLOYD, M., J.H. ZAR and J.R. KARR, 1968. On the calculation of information — theoretical measures of diversity. — *Am. Midl. Nat.*, 79(2): 257-272.
- MAGNIN, E., 1978. Écologie des eaux douces du territoire de la baie James. — Laboratoire d'écologie de la S.E.B.J., Université de Montréal. Société d'Énergie de la Baie James. Montréal, Québec, 454 p.
- NAUWERCK, A., 1963. Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. — *Symb. bot. upsal.*, 17: 1-63.
- PATALAS, K., 1971. Crustacean plankton communities in forty-five lakes in the experimental lakes area, northwestern Ontario. — *J. Fish. Res. Bd Canada*, 28: 231-244.
- PECHEN, G.A., 1965. Produktsiya vetvistousykh rekoobraznykh ozernogo zooplanktona. — *Gidrobiol. Zh.*, 1: 19-26.
- PENNAK, R.W., 1966. Structure of zooplankton populations in the littoral macrophytes zone of some Colorado Lakes. — *Trans. Am. microsc. Soc.*, 85(3): 329-349.
- PINEL-ALLOUL, B., 1976. Étude du zooplancton récolté en 1974 dans la région des lacs Hélène et Nathalie. — Laboratoire d'écologie de la

- S.E.B.J., Univ. de Montréal, Rap. Rech. n° 37, 174 p. dactylographiées.
- PINEL-ALLOUL, B., 1977. Étude du zooplancton récolté en 1975 dans le bassin de la rivière au Castor. — Laboratoire d'écologie de la S.E.B.J., Univ. de Montréal, Rap. Rech. n° 39. 175 p. dactylographiées.
- PINEL-ALLOUL, B. et E. MAGNIN, 1978. Zooplancton d'une tourbière réticulée du territoire de la Baie de James. — *Naturaliste can.*, 105: 19-35.
- PINEL-ALLOUL, B., P. LEGENDRE et E. MAGNIN, 1979. Zooplancton limnétique de 46 lacs et 17 rivières du territoire de la Baie James. — *Can. J. Zool.*, sous presse.
- REED, E.B., 1963. Records of freshwater Crustacea from arctic and subarctic Canada. — *Nat. Mus. Can. Bull.*, n° 199: 29-62.
- SHCHERBAKOV, A.P., 1952. Sootnosheniye Razmerov i vesa u Presnovodnykh Planktonnykh Rachkov. — *Dokl. Akad. Nauk USSR*, 84: 153-157.
- SCHINDLER, D.W., 1972. Production of phytoplankton and zooplankton in Canadian Shield Lakes. In productivity problems of freshwaters, Warszama, Krskow, p. 311 à 331.
- SCHINDLER, D.W. and B. NOVEN, 1971. Vertical distribution and seasonal abundance of zooplankton in two shallow lakes of the experimental area, northwestern Ontario. — *J. Fish. Res. Bd Canada*, 28: 245-256.
- SELGEBY, J.H., 1975. Life histories and abundance of crustacean zooplankton in the outlet of Lake Superior 1971-72. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 32: 461-470.
- WATSON, N.H.F., 1976. Seasonal distribution and abundance of crustacean zooplankton in Lake Erie 1970. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 612-621.
- WRIGHT, J.C., 1958. The limnology of Canyon Ferry Reservoir. I. Phytoplankton-zooplankton relationships in the euphotic zone during September and October, 1956. — *Limnol. Oceanogr.*, 3: 150-159.

A LIFE HISTORY AND ECOLOGIC STUDY OF AN ISOLATED POPULATION OF « DWARF » OUANANICHE, *SALMO SALAR*, FROM GROS MORNE NATIONAL PARK, NEWFOUNDLAND

S.E. BARBOUR, P.J. ROMBOUGH

Biology Department, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, B3H 4J1

and

J.J. KERESKES

*Environment Canada, Canadian Wildlife Service, c/o Biology Department,
Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, B3H 4J1*

Résumé

La ouananiche, *Salmo salar*, est présente dans les lacs du Parc national Gros Morne, dans la région de la péninsule nord de Terre-Neuve. Les individus de cette population sont caractérisés par une croissance lente, une petite taille (longueur maximum à la fourche = 25 cm), une fécondité réduite (maximum; 268 œufs/poisson, 1 500 œufs/kg), un taux de survie élevé de « kelt » (56% des poissons femelles en voie de maturité) et le maintien de caractères juvéniles. Les poissons semblent être des prédateurs opportunistes, les insectes aquatiques et le zooplancton étant les principales composantes de leur diète. Du point de vue taxonomique ce poisson ne peut être distingué de la population anadrome du saumon atlantique et des autres populations de ouananiche. La petite taille et les périodes de fraie multiples sont des adaptations à un environnement rigoureux.

Abstract

Ouananiche, *Salmo salar*, occur in Gros Morne National Park on the Great Northern Peninsula of Newfoundland. They are characterized by slow growth, small size (maximum fork length = 25 cm), low fecundity (maximum 268 ova/fish, 1 500 ova/kg), a high incidence of kelt survival (56% of maturing female fish), and a retention of juvenile characteristics. The fish appear to be opportunistic feeders with aquatic insects and zooplankton the major food items. The population is taxonomically indistinct from anadromous Atlantic salmon and other populations of ouananiche. Small size and repeat spawning are adaptations to a rigorous environment.

Introduction

The North American range of the anadromous Atlantic salmon, *Salmo salar* L., extends from Ungava Bay in Quebec southward along the Atlantic coast through the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Maine and Long Island Sound (Scott and Crossman, 1973). Fresh water populations of Atlantic salmon are often found in suitable lakes in the drainage basins of rivers throughout this area. These fish are commonly called landlocked salmon in New England and the Maritime Provinces and ouananiche in northern Canada. They are often isolated by impassable obstacles from incursions by anadromous salmon populations. This paper describes a population of extremely small ouananiche from an oligotrophic, sub-Arctic

lake in western Newfoundland. This is the first report which confirms the presence of ouananiche on the Great Northern Peninsula of Newfoundland. The life history, growth, fecundity, food and some taxonomic details of this population are examined.

Study area

Candlestick Pond (49° 38'N, 57° 35'W)¹ is located in Gros Morne National Park,

¹ U.T.M. grid zone 21, 575977. It should be noted that Energy Mines and Resources Topographic Map 12 H/12, 1973, (1:50,000 scale) has the Upper Humber lakes mis-named, an error which will be corrected in future editions (F. Timmons, personal communication).

Newfoundland, on the Long Range Mountain Plateau at an elevation of 460 m in the head waters of the Upper Humber River. The immediate area is well provided with fish spawning and rearing habitat. The lake is extremely oligotrophic. Its limnologic features are summarised by Rombough *et al.* (1978). Main Falls, with a vertical drop of 7 m, located 45 km downstream, effectively isolates the headwater region from other fish populations.

Materials and methods

Ouananiche were collected on August 19-20, 1976, June 19-21, 1977, and July 28-31, 1978. Larger fish were collected using monofilament gill nets (stretch mesh 1,3-8,8 cm) while smaller fish (< 14 cm FL) were collected by angling at the pond outlet. The fork length, weight, sex and degree of maturity of the fish specimens were recorded, scale samples taken, and numbered tags attached before fixation in 10% formalin for 48 hours. The fish were washed and stored in 70% ethanol.

Ages were determined by counting the annuli on scales taken directly from the preserved fish in the laboratory at the site of first scale formation. This method was found to be more reliable than aging with otoliths or fin ray sections and avoided the high incidence of replacement scales found in the field collected scales. The criteria described by Power (1969) were used to discern annuli. A compound microscope (80x) was used for critical determination of the first annulus while a microfilm projector (18x) was used for aging and measuring the scales. Measurements from the scale focus to each annulus were made along the longest oral radius (Tesch, 1971). To avoid "Lee's phenomenon" (Ricker, 1975) only the data for fish age 4⁺ or younger were used to calculate the relationship between total scale radius and fork length. This regression was used to obtain estimates of the fork lengths of ages 1, 2, and 3.

Individual condition factors (K) were calculated using Fulton's condition equation:

$$K = \frac{100 W(g)}{L^3 (cm)}$$

(Ricker, 1975). Population condition (b) was assessed using the regression equation:

$$\log W = \log a + b (\log L) \quad (\text{Ricker, 1975}).$$

Meristic data were collected according to the methods of Hubbs and Lagler (1958) with the addition of the adipose scale count of Power (1969). The vestigial ray was included in the branchiostegal ray count.

Fecundity was determined by absolute counts of the ova of maturing females taken in August. The average diameter of maturing ova was determined by direct measurements of a subsample lined up in a trough. Previous spawning was assumed from the presence of large unshed ova in the coelom. Uncollapsed ova from previous maturations were measured to provide an indicator of the diameter of ripe eggs.

The stomach contents were examined from 58 fish taken in June and August.

Results and discussion

Salmonids were the only fish collected from Candlestick Pond. These were the ouananiche, *Salmo salar* L., Arctic char, *Salvelinus alpinus* L., and brook trout, *S. fontinalis* (Mitchill). There was no indication of eels or forage species in the lake or in the waters upstream from Candlestick Pond.

The ouananiche had the appearance of miniature post-smolt Atlantic salmon. Dorsally they had many black spots on a blue-brown background. The belly was white. They were silvered laterally and ventrally while living but soon after death, parr marks became obvious. The silvering was more intense in the June sample of fish when compared to the August sample. The large parr were indistinguishable from anadromous Atlantic salmon parr. The sexes were superficially indistinguishable even in the maturing fish.

The obvious silvering of the June sample of fish is of interest. It would appear that ouananiche undergo some degree of smolting though they do not migrate to sea. The landlocked salmon of Maine exhibit a springtime silvering and migrate from streams into lakes (Havey and Warner, 1970). The Maine populations, however, may have had anadromy introduced into their gene pools during 150 years of management. The ouananiche in Candlestick Pond can be assumed to have been isolated for several thousand years (Rombough *et al.*, 1978) but nonetheless they also exhibit the silvering trait. This springtime silvering was obvious in all age classes, lending support to the

statement by Wagner (1974) that smolting follows a circannual rhythm and occurs in *Salmo* that are resident in fresh water in the spring.

The oldest ouananiche captured from Candlestick Pond were age 7+ years. Table I summarizes the age-length relationships throughout the growing season.

Age-weight relationships are given in Table II.

The weight-length relationship shows a strong seasonal fluctuation. The functional regression value, b , is 2,61 ($r = 0,94$) in the spring but increases to 3,01 ($r = 0,98$) by late August. Condition factor, K , also re-

flects this dramatic fluctuation as K is 0,93 in June and 1,15 in August (Table III).

No significant differences in growth and condition were noted between the sexes.

Growth of Candlestick Pond ouananiche to the large parr stage approximates that of the anadromous salmon of Western Arm Brook, also on the Great Northern Peninsula of Newfoundland, (Chadwick *et al.*, 1978) and that of most ouananiche from the Avalon peninsula (Bruce, 1976; Whelan and Wiseman, 1977; Wiseman, 1971). Their growth is slower than that of ouananiche populations from central Newfoundland (Leggett and Power, 1969; Scott and Crossman, 1964).

TABLE I

Mean fork length (cm) attained by each age class of ouananiche collected from Candlestick Pond at different times in the growing season.

Age (n)	at Annulus formation $\overline{FL} \pm s$ (n)	June 1977 $\overline{FL} \pm s$ (n)	July 1978 $\overline{FL} \pm s$ (n)	August 1976 $\overline{FL} \pm s$ (n)
1 (0)	6,7 \pm 0,39 (22)			
2 (6)	9,7 \pm 0,69 (13)			12,2 \pm 0,64 (3)
3 (1)	12,8 \pm 0,69 (10)		11,6 \pm 0,42 (3)	13,9 (1)
4 (8)		17,4 \pm 1,20 (2)		17,3 \pm 1,09 (6)
5 (32)		19,6 \pm 0,80 (15)	21,1 \pm 0,07 (2)	20,5 \pm 1,41 (15)
6 (23)		20,2 \pm 1,73 (12)	22,7 (1)	21,8 \pm 0,68 (10)
7 (4)		24,7 (1)		21,8 \pm 1,03 (3)

TABLE II

Mean weight (grams) attained by each age class of ouananiche collected from Candlestick Pond at different times in the growing season.

Age (n)	June 1977 $\overline{Wt} \pm s$ (n)	July 1978 $\overline{Wt} \pm s$ (n)	August 1976 $\overline{Wt} \pm s$ (n)
1 (0)			
2 (6)		18,2 \pm 2,3 (3)	21,8 \pm 3,7 (3)
3 (1)			29,3 (1)
4 (8)	50,5 \pm 12,0 (2)		58,6 \pm 13,1 (6)
5 (32)	69,8 \pm 7,8 (15)	101,0 \pm 5,7 (2)	100,7 \pm 20,2 (15)
6 (23)	78,0 \pm 16,6 (12)	195,0 (1)	118,8 \pm 10,6 (10)
7 (4)	135,0 (1)		125,0 \pm 10,0 (3)

TABLE III

Condition factors and weight-length equations for ouananiche collected from Candlestick Pond at different times in the growing season.

	June 1977 $\overline{K} \pm s$ (n)	July 1978 $\overline{K} \pm s$ (n)	August 1976 $\overline{K} \pm s$ (n)
Total sample	0,93 \pm 0,07 (29)	1,11 \pm 0,05 (6)	1,15 \pm 0,09 (40)
kelts	0,84 \pm 0,12 (2)	1,15 (1)	1,16 \pm 0,09 (8)
Wt — length regression equation	logW = - 1,53 + 2,61 log FL		logW = - 1,95 + 3,01 log FL

Examination of scales shows that Candlestick Pond ouananiche undergo a short period of rapid growth at the smolt stage (age 4). Subsequently, the growth rate slows so that the annual length increments for this population are less than that of all but one of the ouananiche populations previously studied in Newfoundland (Bruce, 1976; Leggett and Power, 1969; Scott and Crossman, 1964; Whelan and Wiseman, 1977). The only reported population to exhibit a slower growth rate and smaller final size is from Soldier's Pond, Avalon Peninsula (Bruce, 1976).

The small final size of the individual fish appears to be dictated by limnologic conditions in Candlestick Pond. The summer season is short (≈ 10 weeks) and the winter rigorous. The fish must use the limited resources of a very oligotrophic system to recover lost condition (b and K) and then add length. Sexually maturing individuals must also invest energy in gonad development. After the age of maturation, growth virtually terminates.

The normal onset of maturity occurred at age 4 (FL ≈ 17 cm) for males and age 5 (FL ≈ 20 cm) for females. Two precocious male parr (age 2, FL = 12,1 and 11,5 cm) were taken. One female kelt age 5 was collected but was larger (FL = 23 cm) than most of the fish of older age classes.

The sex ratio of all fish captured did not differ significantly from 1,0.

The mean number of maturing ova per female in August was 182,1 ($\pm 36,6$) with a mean preserved diameter of 3,36 mm ($\pm 0,27$). The mean weight of the maturing female fish was 118,6 g ($\pm 9,8$) which gives a fecundity of 1542 (± 309) ova/kg. (700 (± 141) egg/lb).

All kelts sampled in August had regained their condition and were at an advanced state of maturity. They made up 56% of the maturing female population. Unshed ova from previous maturations had a mean preserved diameter of 5,5 mm.

One ovary was regularly larger and contained more eggs than the other. The side which was larger was not statistically consistent.

The fecundity of ouananiche from Candlestick Pond is similar on a per unit weight basis to anadromous populations of *Salmo salar* (Lee and Power, 1976; Power, 1969; Rounsfell, 1957), landlocked salmon (Havey

and Warner, 1970), and other populations of ouananiche (Lee, 1971; Leggett and Power, 1969). The actual fecundity of the population is extremely low owing to the small size and number of mature fish.

An estimate of the number of ouananiche age 4+ and more, using the Leslie method (Ricker, 1975), was 152 fish (95% confidence interval 60-320) in Candlestick Pond. The estimated number of mature female fish was 61 (24-218). This coupled with the average number of ova per fish gives an estimated annual deposition of 11,000 eggs (4400-23000). The large proportion (56%) of mended kelts, all of which spawn annually, makes an important contribution to the recruitment of salmon in Candlestick Pond.

The food of these salmon consisted exclusively of insects and zooplankton (Table IV). Although the same orders of insects were eaten in each season, the families differed with diversity greater in August. Diptera were the predominant food item with Chironomidae larvae consumed in June and Mycetophilidae pupae and emergents taken in August. There was little contribution to the salmon biomass from the surrounding terrestrial environment since most of the food organisms were fluvial or lacustrine in origin. The salmon appeared to be opportunistic feeders, taking benthic, planktonic and surface organisms.

Parasitic nematodes occurred in 26% of the stomachs sampled.

Ouananiche that are restricted to a diet of invertebrates tend to remain small (Bruce, 1976; Kerr, 1971; Leggett and Power, 1969; Wiseman, 1971) but may become piscivorous and grow to larger sizes if forage fish are available (Havey and Warner, 1970; Leggett and Power, 1969; Scott and Crossman, 1964). A survey of feeding studies on ouananiche (Bruce, 1976; Leggett and Power, 1969; Scott and Crossman, 1974; Wiseman, 1971) and Atlantic salmon parr (Pedley and Jones, 1978; Pepper, 1976; Power, 1969; Rimmer and Power, 1978) indicates that salmon in fresh water are opportunistic feeders. The fish may have food preferences that are often a function of food availability rather than choice. Opportunistic feeding is advantageous in northern mainland Canada and Newfoundland where food is often scarce and any available organism must be utilized.

TABLE IV

Frequency of occurrence of prey animals in the stomachs of ouananiche from Candlestick Pond.
(T = terrestrial origin)

Prey animal	June 1977		August 1976	
	n = 21	%	n = 37	%
Ephemeroptera	14	66	21	57
Odonata			10	27
Plecoptera	14	66		
Homoptera (T)			2	5
Coleoptera			5	14
Trichoptera	4	19	23	62
Diptera	17	81	30	81
Hymenoptera (T)			5	14
Cladocera			21	57
Empty	0	0	0	0

TABLE V

Meristic characters of ouananiche from Candlestick Pond, Newfoundland.
(U.L. = upper limb; L.L. = lower limb)

Character	Mean \pm s	(n)	Range
Dorsal Fin Rays	11,0 \pm 0,25	(33)	10-11
Anal F.R.	9,0 \pm 0	(32)	9
Pectoral F.R.	13,8 \pm 0,68	(33)	13-15
Pelvic F.R.	9,0 \pm 0	(33)	9
Gill Rakers U.L.	6,4 \pm 0,72	(23)	5-8
L.L.	11,7 \pm 0,71	(23)	11-13
Total	18,0 \pm 1,07	(23)	16-20
Branchiostegal R.	11,9 \pm 0,90	(33)	10-14
Pyloric caeca	53,6 \pm 9,26	(29)	43-76
Adipose scales	14,2 \pm 0,92	(33)	13-16

The meristic counts performed on these ouananiche are summarized in Table V. They tend to have slightly low counts but are within the range for the species *Salmo salar* L. Comparison with published results (Power, 1969; Scott and Crossman, 1964; Wilder, 1947) revealed significant differences from a few scattered geographically distant populations but close agreement with all others.

These ouananiche have the characteristics of typical Atlantic salmon in life span, early growth, age at maturity, fecundity, feeding and structural characters. The two distinguishing features, the small individual size and the high incidence of repeat spawning by females, appear to be responses to the environment.

Candlestick Pond is a marginal habitat for salmon. It has a low pH (5,1), is highly oligotrophic, and has a short summer season. A pH of 5,3 has been shown to inhibit

the growth of young salmon in a Nova Scotia hatchery (Goff, personal communication). Extreme oligotrophy may limit the food supply and the short summer season allows very little time for the fish to regain condition lost during the winter and produce net annual growth. It is reasonable to expect a pH stressed fish population feeding on small food particles during a short summer season to consist of small individuals.

The large proportion of kelts in the population reflects low predation on adult fish. This is indicated by the lack of fish remains in stomach samples from the three fish species in the lake and a notable absence of piscivorous birds and mammals in the vicinity of the lake. Avian and mammalian predators would be hampered by the poor visibility offered by the dark water colour of the lake. Easily accessible, abundant spawning areas allow the conservation

of energy by the spawners during migration. The continuation of feeding by the maturing fish until the beginning of the spawning season reduces the loss of condition (K, Table III), a change often fatal to post-spawning anadromous salmon in which feeding generally terminates five months before spawning. The resultant high survival of kelts adds appreciably to the fecundity of this population.

The structural similarity of the ouananiche in Candlestick Pond to other populations lends support to the contention by Behnke (1972) that ouananiche are polyphyletically derived from an anadromous stock of salmon which recolonized North America from Europe after the Wisconsin glacial recession. This ice retreated from western Newfoundland at least 10,000 years before present (Grant, 1976). Rombough *et al.*, (1978) established that Candlestick Pond was colonized several thousand years ago by an aboriginal form of Arctic char, *Salvelinus alpinus oquassa* (Qadri, 1974), and was then isolated by isostatic rebound from invasion by the now dominant eastern Arctic form of Arctic char, *S. alpinus*. Behnke (pers. comm.) suggests that, «*S. a. oquassa* may represent a group dispersing from Europe to North America with Atlantic salmon and smelt.» Atlantic salmon likely colonized Candlestick Pond at about the same time as the aboriginal char and were subsequently isolated. The similarity of these relict, "dwarf" ouananiche to other populations of Atlantic salmon, both anadromous and freshwater, suggests that the populations are derived from a single ancestral form.

Acknowledgements

We thank E. T. Garside and S. W. Speller for helpful comments on the manuscript and M. J. Dadswell for aid in identification of stomach contents. Financial support was provided by Parks Canada and the Canadian Wildlife Service. We are greatly indebted to P. Schwinghamer, F. Timmons and the Warden Service of Gros Morne National Park for their continuous support of the field work. D. Sharpies was most helpful in typing the manuscript. B. Côté kindly translated the abstract.

References

- BEHNKE, R. J., 1972. The systematics of salmonid fishes of recently glaciated lakes. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 29: 639-671.
- BRUCE, W. J., 1976. Age, growth, maturity and food habits of landlocked salmon (*Salmo salar*) in Soldiers Pond, a Newfoundland lake. — *Environment Canada Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. N° 668*, 16 p.
- CHADWICK, E. M. P., T. R. PORTER and P. DOWNTON, 1978. Analysis of growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a small Newfoundland River. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: 60-68.
- GRANT, D.R., 1976. Glacial style and late Wisconsinan ice limits, sea level changes and crustal movement in the Atlantic provinces, Canada. — *Colloq. Quat. Que., Resumes Commun.*, No. 3, p. 36-39.
- HAVEY, K.A. and K. WARNER, 1970. The landlocked salmon (*Salmo salar*): its life history and management in Maine. — *Maine Dep. Inld Fish Game*, Augusta, 129 p.
- HUBBS, C. L. and K. F. LAGLER, 1958. Fishes of the Great Lakes Region. — *Cranbrook Inst. Sci. Bull. No. 16*, 213 p. (revised).
- KERR, S. R., 1971. Prediction of fish growth efficiency in nature. — *J. Fish Res. Bd Can.*, 28: 809-814.
- LEE, R. L. G. and G. POWER, 1976. Atlantic salmon (*Salmo salar*) of the Leaf River, Ungava Bay. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 2616-2621.
- LEE, S.H., 1971. Fecundity of four species of salmonid fishes in Newfoundland waters. — *M. Sc. Thesis, Dep. Biol., Meml Univ. Newfoundland. St. John's, Nfld*, 114 p.
- LEGGETT, W. C. and G. POWER, 1969. Differences between two populations of landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Newfoundland. — *J. Fish. Res Board Can.*, 26: 1585-1596.
- PEDLEY, R. B. and J. W. JONES, 1978. The comparative feeding behaviour of brown trout, *Salmo trutta* L. and Atlantic salmon, *Salmo salar* L. in Llyn Dwythwch, Wales. — *J. Fish. Biol.*, 12: 239-256.
- PEPPER, V.A., 1976. Lacustrine nursery areas for Atlantic salmon in insular Newfoundland. — *Environment Canada Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. No. 671*, 61 p.
- POWER, G., 1969. The salmon of Ungava Bay. — *Arct. Inst. North Am. Tech. Pap. no. 22*, 72 p.
- QADRI, S. U., 1974. Taxonomic status of the *Salvelinus alpinus* complex. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 31: 1355-1361.
- RICKER, W. E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. — *Bull. Fish. Res. Board Can. No 191*, 383 p.
- RIMMER, D. M. and G. POWER, 1978. Rearing Atlantic salmon (*Salmo salar*) in fishless lakes of the Matamek River system, Québec. — *Can. Field-Nat.*, 92: 1-9.
- ROMBOUGH, P.J., S.E. BARBOUR and J.J. KEREKES, 1978. The life history and taxonomic status of an isolated population of

- Arctic char, *Salvelinus alpinus*, from Gros Morne National Park, Newfoundland. — J. Fish Res. Board Can., 35: 1537-1541.
- ROUNSFELL, G. A., 1957. Fecundity of North American Salmonidae. — U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull. No. 122, 57: 451-468.
- SCOTT, W. B. and E. J. CROSSMAN, 1964. Fishes occurring in the freshwaters of insular Newfoundland. — Dep. Fish. Ottawa, 124 p.
- SCOTT, W.B. and E. J. CROSSMAN, 1973. Freshwater fishes of Canada. — Bull. No 184, Fish. Res. Bd Canada, 966 p.
- TESCH, F.W., 1971. Age and growth, p. 98-130. in: W. E. Ricker (Ed.). Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP Handbook No. 3, Blackwell Press, Oxford.
- WAGNER, H.H., 1974. Photoperiod and temperature regulation of smolting in steelhead trout (*Salmo gairdneri*). — Can. J. Zool., 52: 219-234.
- WHELAN, W. G. and R. J. WISEMAN, 1977. The limnology and sport fish populations of three lakes located on the southern shore, Avalon Peninsula, Newfoundland. — Data Rep. No. 26, Fish. Marine Serv., Dep. Fish. Environment, St. John's, Newfoundland.
- WILDER, D. G., 1947. A comparative study of the Atlantic salmon, *Salmo salar sebago* (Girard). — Can. J. Res. (Ottawa) D25: 175-189.
- WISEMAN, R. J., 1971. The limnology, ecology and sport fishery of Thomas Pond: a multi-use reservoir. — Prog. Rep. Fish. Serv. Res. Dev. Brch, Environ. Can. No. 73, 133 p.

APPLICATION DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES À L'ÉTUDE DES PÂTURAGES SEMI-NATURELS DE LA RÉGION DE QUÉBEC¹

Dominique DOYON et Gérard CLABAULT²

Service de recherche en défense des cultures
Ministère de l'agriculture, Québec

Résumé

L'analyse factorielle des correspondances a été appliquée aux données de 146 relevés phytosociologiques effectués dans les pâturages semi-naturels de la région de Québec. Ces données avaient déjà servi de base à la description de cinq types de pâturages dominés respectivement par les espèces suivantes: *Agrostis tenuis*, *Danthonia spicata*, *Festuca rubra*, *Carex nigra*, *Festuca rubra* et *Medicago lupulina*. L'interprétation des résultats de l'analyse des correspondances effectuées à partir du critère présence-absence des espèces a permis d'ordonner la plupart des pâturages à *Danthonia spicata*, à *Agrostis tenuis* et à *Festuca rubra* selon l'axe 1 traduisant l'évolution de la flore suite au vieillissement et à la dégradation progressive des herbages pâturés. Elle a servi également à isoler deux groupements selon l'axe 2 qui traduit le drainage des sols: les pâturages à *Festuca-Medicago* et ceux à *Carex nigra*. Le problème de la définition de nouvelles catégories de pâturages est abordé.

Abstract

Floristic data from 146 pasture relevés of the Quebec region have been submitted to ordination by the multivariate method called reciprocal averaging. The same set of data had previously served to describe pasture types named by the following species: *Agrostis tenuis*, *Festuca rubra*, *Danthonia spicata*, *Carex nigra*, *Festuca rubra* and *Medicago lupulina*. Results of the reciprocal averaging analysis show that stands of the first three pasture types are arranged mostly along the first axis, obviously representing the successional trend: well grazed and recently improved pastures of the *Festuca rubra* type in the right part of the first axis and old brush-invaded pastures of the *Danthonia spicata* type to the left. On the second axis, two pasture types have been detected. These discontinuous and discrete stand groupings follow a moisture gradient. The problem of defining new phytosociological pasture types is considered.

Introduction

Les herbages relativement stables qui s'établissent après la disparition des espèces fourragères ensemencées ont déjà fait l'objet d'études intensives dans l'est du Canada. Boulet (1946) a résumé l'essentiel des résultats des inventaires effectués dans le Québec. Pour sa part, Dore (1949) a délimité, entre autre, l'aire d'optimum écologique de six associations qu'il considère comme bioclimatiques. Des provinces maritimes jusque dans le sud de l'Ontario en passant par le Québec méridional, ces bioclimax seraient

ceux à *Poa trivialis*, à *Agrostis tenuis*, à *Festuca rubra*, à *Agrostis alba* (*A. gigantea*), à *Poa pratensis* et à *Poa compressa*.

À l'occasion de ces inventaires écologiques, des groupements tels les herbages à *Agrostis palustris* (*A. alba* var. *palustris*), à *Danthonia spicata* et à *Carex nigra*, ont été également décrits; ils n'apparaissent semblait-il que dans des conditions édaphiques particulières.

Des études plus récentes effectuées dans la région de Québec ont permis de décrire la végétation et l'écologie de cinq types de

¹ Contribution no 238 de la Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Agriculture Québec.

² Adresse actuelle: Laboratoire du phytotron, CNRS, Gif-sur-Ivette, France.

pâturages semi-naturels (Doyon, 1965, 1968, 1974; Bouchard, 1970). Ce sont d'abord les types à *Festuca rubra*, à *Agrostis tenuis* à *Danthonia spicata*, reliés à l'évolution des herbages ensemencés après labours sous diverses conditions d'utilisation et de traitements agronomiques. Ils se rencontrent sur des loams sableux et des sables à drainage variant de très bon à imparfait et où le pH s'étaient de 4,7 à 6,0. Vient ensuite le type à *Carex nigra* qui caractérise des sols humides, minéraux ou tourbeux minces, acides (pH 4,8 à 5,1) et, dans plusieurs cas, jamais labourés. Il y a enfin le type à *Festuca rubra* — *Medicago lupulina* qui est un groupement des sols relativement minces et développés sur des matériaux calcaires de la formation Trenton. Ces sols sont très bien drainés et le pH de l'horizon cultivé dépasse souvent 6,0.

Dans ces travaux, l'individualisation des groupements repose davantage sur la parenté des relevés établie en fonction de l'abondance des espèces que sur la similitude des listes floristiques complètes. Dans le présent article, nous nous proposons de comparer la composition floristique des mêmes herbages à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances, en utilisant les données de présence-absence des espèces.

Données et méthodes utilisées

NATURE ET PROVENANCE DES DONNÉES

Les données sont celles des relevés phytosociologiques effectués par Doyon (1965, 1968, 1974) et par Bouchard (1970) selon les normes d'abondance — dominance de Braun-Blanquet (1932, 1951) sur des surfaces homogènes de 4 à 12 mètres carrés. Seuls les relevés caractérisés par la dominance de l'une ou/et l'autre des espèces suivantes: *Agrostis tenuis*, *Festuca rubra*, *Danthonia spicata* et *Carex nigra* ont été sélectionnés dans la présente analyse.

Parmi les 146 relevés utilisés, 61 proviennent du «pâturage à *Agrostis tenuis*»; 37 du «pâturage à *Festuca rubra*»; 23 du pâturage à *Danthonia spicata*; 13 du «pâturage à *Festuca rubra* et *Medicago lupulina*» et 8 du «pâturage à *Carex nigra*» (tableau I). 83 relevés émanent de l'étude de Doyon (1968) sur les pâturages de Saint-Féréol et de Saint-Tite-des-Caps, localités situées sur le plateau des Laurentides à l'intérieur du comté de Montmorency; 16

relevés proviennent d'un inventaire écologique effectué dans le comté de Lévis (Basses-Terres du Saint-Laurent) par Doyon (1974); 21 autres relevés, d'une étude écologique de Petite-Rivière-Saint-François, comté de Charlevoix (plateau des Laurentides, Bouchard, 1970); enfin, 13 relevés sont tirés d'une publication de Doyon (1965) décrivant des pâturages de la plaine basse (localités du comté de Portneuf, plus Baie Saint-Paul et Cap-aux-Oies dans le comté de Charlevoix). La situation géographique de chacune des 15 stations concernées apparaît à la figure 1.

Le tableau I fournit des renseignements sur les sources (documents et auteurs) d'où sont tirés les relevés; sur la correspondance entre les numéros de relevés (sur les cartes factorielles) et ceux des stations dans les travaux cités; finalement, on y trouve l'identification du type de pâturage proposé par les auteurs. Le tableau II renferme la liste de 113 espèces (sur un total de 218) retenues au cours de l'interprétation (figs 3 et 5).

MÉTHODE D'ANALYSE DES DONNÉES

L'ensemble des listes floristiques que comportent les relevés, peut s'écrire sous la forme d'un tableau à double entrée, où les relevés constituent les colonnes (J) et les espèces les lignes (I), l'élément $k(i,j)$ étant égal à 1 ou 0, selon la présence ou l'absence de l'espèce i dans le relevé j . Le problème consiste à partitionner cette matrice en regroupant les relevés qui se ressemblent plus entre eux qu'ils ne ressemblent aux autres.

Cette partition a été effectuée en utilisant une technique numérique apparentée à l'analyse en composantes principales, l'analyse factorielle des correspondances. Cette technique, élaborée par Benzécri et ses collaborateurs (Cordier, 1965; Benzécri et al., 1973), a été appliquée à la phytosociologie sous l'impulsion du Professeur Guinochet (Lacoste et Roux, 1971; Klein, 1972; Ritter, 1972; Béguin et al., 1974; Lacoste, 1976). Elle a été employée pour étudier des relations entre les données floristiques et les variables écologiques par Lacoste et Roux (1972), les variables du milieu et le rendement dans le domaine forestier par Ménard et Bélanger (1976) et dans le domaine agricole par Conésa et al. (1975); Longchamp (1975) et Barralis (1975) l'ont utilisée plus spécifiquement dans des recherches sur la végétation des prairies et

TABLEAU I

Origine des données. Correspondance entre les numéros des relevés analysés et ceux des études citées.
 Relevés : numéros utilisés sur les cartes factorielles (fig. 2 et 4);
 Stations : numéros provenant de l'étude citée.

Saint-Ferréol et Saint-Tite-des-Caps, Comté de Montmorency, Québec (Doyon 1968)							
Pâturage à <i>Agrostis tenuis</i>		Pâturage à <i>Festuca rubra</i>		Pâturage à <i>Danthonia spicata</i>		Pâturage à <i>Carex nigra</i>	
Relevés	Stations	Relevés	Stations	Relevés	Stations	Relevés	Stations
1	1	50	3	33	1	45	1
2	2	51	4	34	2	46	2
3	3	52	9	35	3	47	3
4	4	53	11	36	4	48	7
5	5	54	12	37	5	49	8
6	6	55	13	38	6		
7	7	56	13	39	7		
8	8	57	14	40	8		
9	9	58	15	41	9		
10	10	59	15	42	10		
11	11	60	16	43	11		
12	12	61	19	44	12		
13	13	62	20				
14	14	63	21				
15	15	64	22				
16	16	65	23				
17	17	66	23				
18	18	67	24				
19	19	68	25				
20	20	69	25				
21	21	70	25				
22	22	71	26				
23	23	72	27				
24	24	73	27				
25	25	74	28				
27	26	75	29				
27	27	76	30				
28	28	77	31				
29	29	78	31				
30	30	79	32				
31	31	80	33				
32	32	81	34				
		82	35				
		84	37				

Petite-Rivière-Saint-François, Comté de Charlevoix, Québec (Bouchard 1970)							
Pâturage à <i>Agrostis tenuis</i>		Pâturage à <i>Festuca rubra</i>		Pâturage à <i>Danthonia spicata</i>		Pâturage à <i>Carex nigra</i>	
Relevés	Stations	Relevés	Stations	Relevés	Stations	Relevés	Stations
89	11	85	6	100	25	104	29
90	12	86	7	101	26	105	30
91	13	87	8	102	27	106	31
92	15			103	28		
93	17						
94	19						
95	20						
96	21						
97	22						
98	23						
99	24						

Comté de Lévis, Québec (Doyon 1974)			
Pâturage à <i>Agrostis tenuis</i>		Pâturage à <i>Danthonia spicata</i>	
Relevés	Stations	Relevés	Stations
107	6983	118	7283
108	6988	119	7296
110	7077	120	7299
112	7099	121	7307
115	7258	124	7346
116	7263	128	7353
117	7276	131	7357
122	7310	132	7358
123	7312		
125	7349		
126	7350		
129	7354		
130	7356		
133	7360		
134	7361		
136	7364		
137	7366		

Comté de Portneuf et Comté de Charlevoix, Québec (Doyon 1965)		
Pâturage à <i>Festuca rubra</i> et <i>Medicago lupulina</i>		
Relevés	Stations	
	140	1
	141	2
	142	3
	143	4
	144	5
	145	6
	146	8
	147	9
	148	10
	149	11
	150	12
	151	13
	152	14

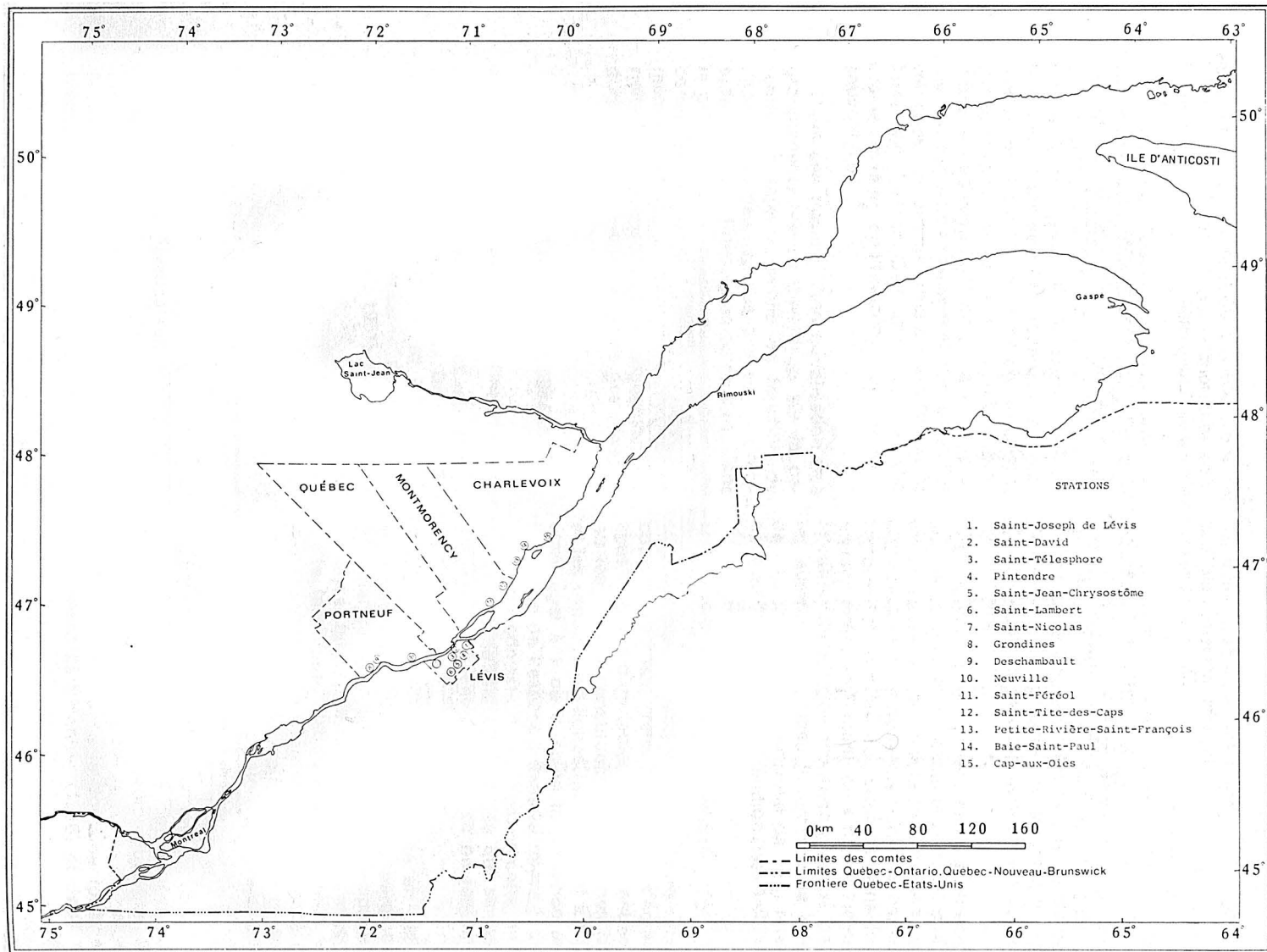


Figure 1. Localisation des stations étudiées dans la région du Québec.

des groupements de mauvaises herbes; plusieurs botanistes, depuis 1969 en particulier, l'ont aussi appliquée à des problèmes de taxonomie végétale (Gorenflot *et al.*, 1976; de Bilde *et al.*, 1977). L'analyse des correspondances a été utilisée également sous le nom de «*reciprocal averaging*» par Hill (1973, 1974) et par Bouxin (1976); elle a été comparée à d'autres techniques d'ordination par Gauch *et al.* (1977), Austin (1976) et Noy-Meir et Whittaker (1977). Ces derniers mentionnent que l'analyse des correspondances, bien que faisant partie des méthodes multivariées de modèle continu, détecte et représente fidèlement les discontinuités.

L'analyse des correspondances permet de faire jouer un rôle symétrique aux variables et aux observations. En effet, si les J points-relevés se situent dans l'espace à I dimensions des espèces, les I espèces se trouvent dans l'espace des J relevés. L'analyse place le nuage multidimensionnel des points-relevés et celui des points-espèces dans le même espace, et permet, après réduction du nombre de dimensions de cet espace, d'obtenir les projections des relevés et des espèces sur les mêmes cartes factorielles. L'intérêt fondamental de ces représentations est de permettre, non seulement l'étude des proximités naturelles des objets et le regroupement des éléments qui se ressemblent, mais aussi l'étude des relations entre variables et observations. Les relevés de composition floristiques voisine et les espèces qui les caractérisent, se projettent dans les mêmes zones; on peut alors établir objectivement «l'ensemble spécifique normal» (Guinochet, 1973) de chaque groupement, et le degré de fidélité des espèces aux associations décrites. Le choix de l'analyse des correspondances dans les études phytosociologiques est donc justifié. Par ailleurs, Hill (1973) écrit ce qui suit: «*The symmetry of the method is attractive but does not give it any particular advantage over a conventional principal components analysis*». Le même auteur continue plus loin en ces termes: «*The main advantage of reciprocal averaging, then, is that it gives good species ordination to go with the stand ordinations, not that it gives markedly better stand ordinations*».

Le programme de calcul tiré du travail de Benzécri, (1973, tome II, p. 562-577) est dû à Robert et Bordet. Les différentes analyses ont été effectuées sur ordinateur IBM 370 modèle 158. Les principales phases des

calculs sont celles de l'analyse en composantes principales; toutefois, le carré de la distance employée:

$$d^2(i, i') = \sum_j (f(j/i) - f(j/i'))^2 / f(j)$$

— où $f(j)$ est une fréquence et $f(j/i)$, $f(j/i')$ sont les fréquences conditionnelles de j quand i , et de j quand i' respectivement (Benzécri, 1973, tome I, p. 24) — est une métrique du χ^2 , les corrélations sont établies entre profils. Ainsi dans le cas des relevés, c'est la valeur $k(i, j)$ divisée par le nombre d'espèces contenues dans le relevé, qui sera considérée.

Soulignons enfin avec Daget (1976) que cette analyse ne nécessite aucune normalisation des données brutes, et qu'elle peut s'appliquer à des matrices contenant de nombreux zéros, situation fréquente dans le cas d'études floristiques.

Pour chaque analyse, on a construit 9 types de diagramme, projetant relevés, espèces et l'ensemble relevés-espèces sur les plans déterminés par les couples d'axes factoriels 1-2, 1-3 et 2-3. À la suite de la première analyse (portant sur l'ensemble des données) qui a permis d'individualiser un certain nombre de groupements, nous avons procédé à plusieurs analyses partielles. En effet, les groupes de relevés fortement différenciés occupent des positions très excentriques sur les diagrammes, et «renvoient» les autres relevés vers l'origine où ils se concentrent. Pour mettre en évidence les différences entre ces relevés, il faut alors éliminer les groupes et effectuer une autre analyse. Cette manière de procéder par étapes permet une étude plus fine des données. Il faut toutefois souligner que le degré d'individualisation des ensembles obtenus après plusieurs éliminations, est inférieur à celui des groupes «sortis» en première analyse. Ceci a été bien mis en évidence par Ritter (1972).

Résultats

GÉNÉRALITÉS

L'analyse des correspondances a porté sur les données de quatre matrices: la matrice de départ contenant la totalité des 146 relevés (218 espèces) et trois matrices partielles, obtenues après éliminations successives des groupes individualisés et/ou des relevés excentriques et isolés, comportant 124 relevés (198 espèces), 98 relevés (131 espèces) et 82 relevés (121 espèces). Les résultats de l'analyse de correspondance sont présentés ici sous la forme de cartes factorielles. Pour exposer l'essentiel des

résultats obtenus, quatre cartes sont reproduites: deux (représentant la projection des relevés et des espèces) résultent de l'analyse sur la matrice complète relative à la totalité des relevés (146 relevés) et deux autres (contenant les mêmes éléments) font suite à l'analyse de la dernière matrice partielle (82 relevés). Il est important de noter que les conclusions ont été tirées de l'examen de l'ensemble des diagrammes (cartes factorielles). Les regroupements de relevés et le tracé des lignes de coupure ont été adoptés après un examen détaillé des différentes projections sur les trois premiers axes des cinq déterminés à la suite de l'application de l'analyse des correspondances sur chacune des 4 matrices. Pour l'analyse de la matrice complète, les trois premiers axes ont des valeurs propres de 0,437, de 0,358 et 0,308 et ils rendent compte de 10% de l'inertie totale (ou trace) qui s'établit à 11,264. Dans le cas de la dernière analyse partielle, les valeurs propres des trois premiers axes sont encore plus rapprochées: 0,246, 0,216 et 0,205; ils se partagent encore environ 10% de l'inertie totale qui s'élève à 6,326.

Seuls les trois premiers axes factoriels de chaque analyse ont servi à l'interprétation. En effet, la valeur propre du troisième axe, très proche de celle du deuxième (en particulier lors de la dernière analyse), indique que cet axe, déjà, apporte peu d'information supplémentaire. De plus, l'examen des listes floristiques et de la représentation des espèces sur les axes d'ordre supérieur montrent, qu'à partir du quatrième axe, les entités mises en évidence (scores les plus élevés) sont des taxons extrêmement rares sinon étrangers à la flore spécifique des herbages étudiés.

L'interprétation proposée ici a été réalisée malgré le faible taux d'inertie totale (10%) expliquée par les trois premiers axes. En effet, d'après les statisticiens (Benzécri *et al.*, 1973; Lebart et Fénelon, 1971), les premiers axes d'une analyse factorielle des correspondances rendent compte des traits principaux de la structure du système étudié qui résultent de variations non aléatoires et leur signification a de grandes chances d'être valide.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES APPLIQUÉE À LA MATRICE COMPLÈTE

Les 146 relevés projetés dans le plan des axes 1-2 forment un nuage en U dont la

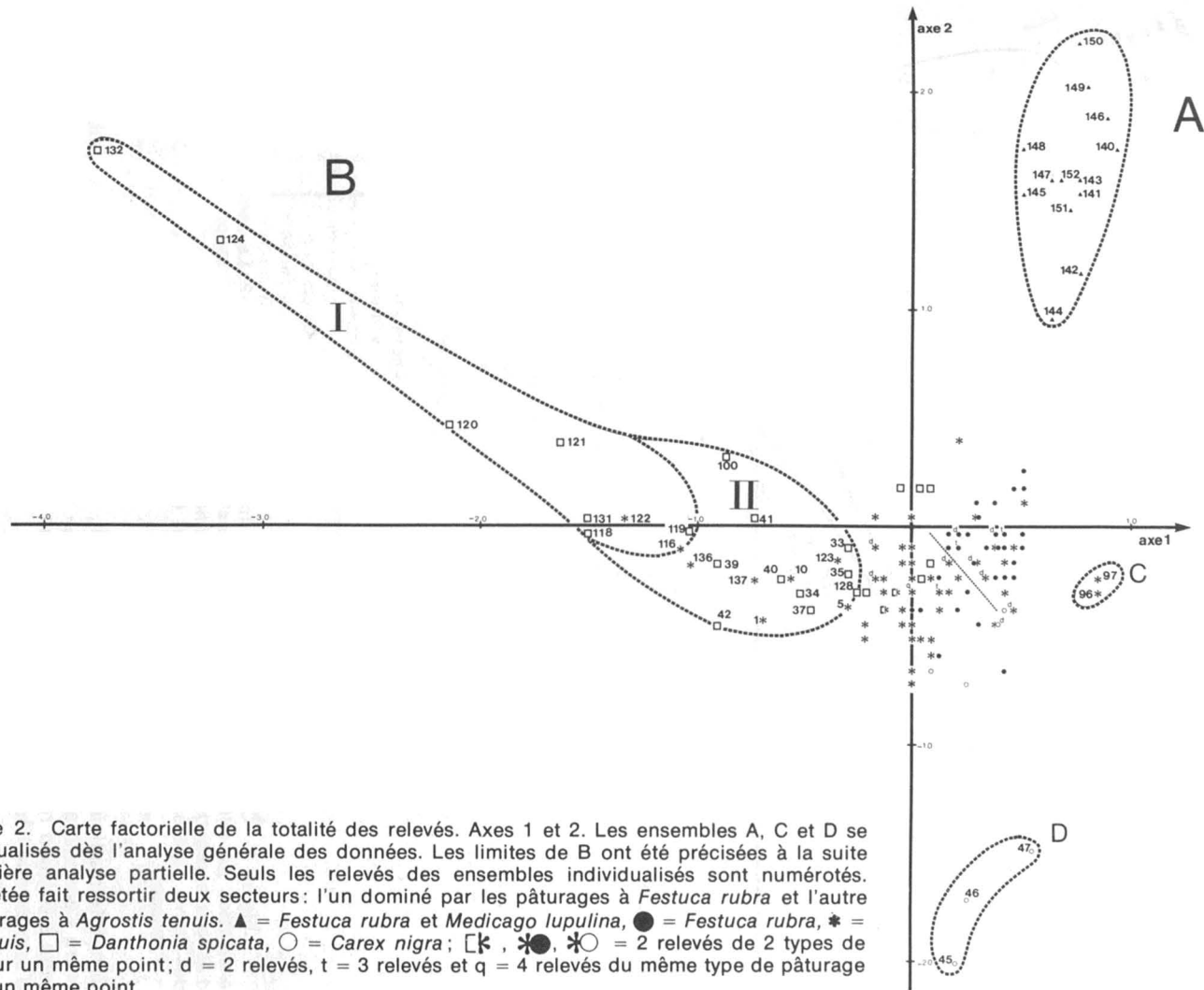
majorité des points sont situés le long de l'axe 1 et dont le centre de gravité est à proximité de l'origine (fig. 2). L'examen du nuage de points montre que les projections des relevés appartenant à un même type de pâturage sont assez groupées; on peut distinguer (de gauche à droite) des secteurs où prédominent les pâturages à *Danthonia spicata*, à *Agrostis tenuis*, à *Festuca rubra* et à *Festuca rubra* et *Medicago lupulina*. Cependant, et ceci est très important, il existe dans certaines zones du diagramme un mélange de points représentant plusieurs catégories de pâturages.

L'analyse des correspondances met ainsi en évidence que certains relevés classés dans des types différents de pâturages sont floristiquement plus apparentés entre eux qu'ils ne le sont avec les autres relevés appartenant au même type. Il est nécessaire de reconsidérer la classification de tels relevés. L'étude de l'ensemble des projections sur les plans des axes 1-2, 1-3 et 2-3 permet de regrouper les relevés en plusieurs ensembles délimités sur la figure 2 par une ligne tiretée et identifiés par des lettres majuscules.

Quatre groupes de relevés d'importance inégale ont d'abord été individualisés il s'agit des groupes A, C et D, facilement isolables des autres relevés situés près de l'origine, et du groupe B dont la délimitation est plus délicate.

L'ensemble A, situé dans le premier quadrant, est bien isolé du reste des relevés (fig. 2). Il occupe une position nettement excentrique et les relevés qui le composent sont bien groupés. Cet ensemble particulièrement homogène comprend tous les relevés effectués sur sols calcaires et secs dans des stations rattachées par Doyon (1965) au pâturage à *Festuca rubra* et *Medicago lupulina*. Le caractère très particulier de l'ensemble A se reflète sur la carte factorielle des espèces (fig. 3) par la projection dans le même secteur d'entités comme *Lithospermum officinale* 104, *Asclepias syriaca* 17, *Nepeta cataria* 117, *Medicago lupulina* 115, *Cynoglossum officinale* 54, *Trifolium procumbens* 185, *Echium vulgare* 57, *Cichorium intybus* 46.

On remarquera que la plupart de ces espèces, exclusives à A, sont placées au-dessus du tracé même de cet ensemble. Cette position indique l'absence de lien entre ces espèces et les relevés autres que ceux de l'ensemble A. Par ailleurs, la posi-



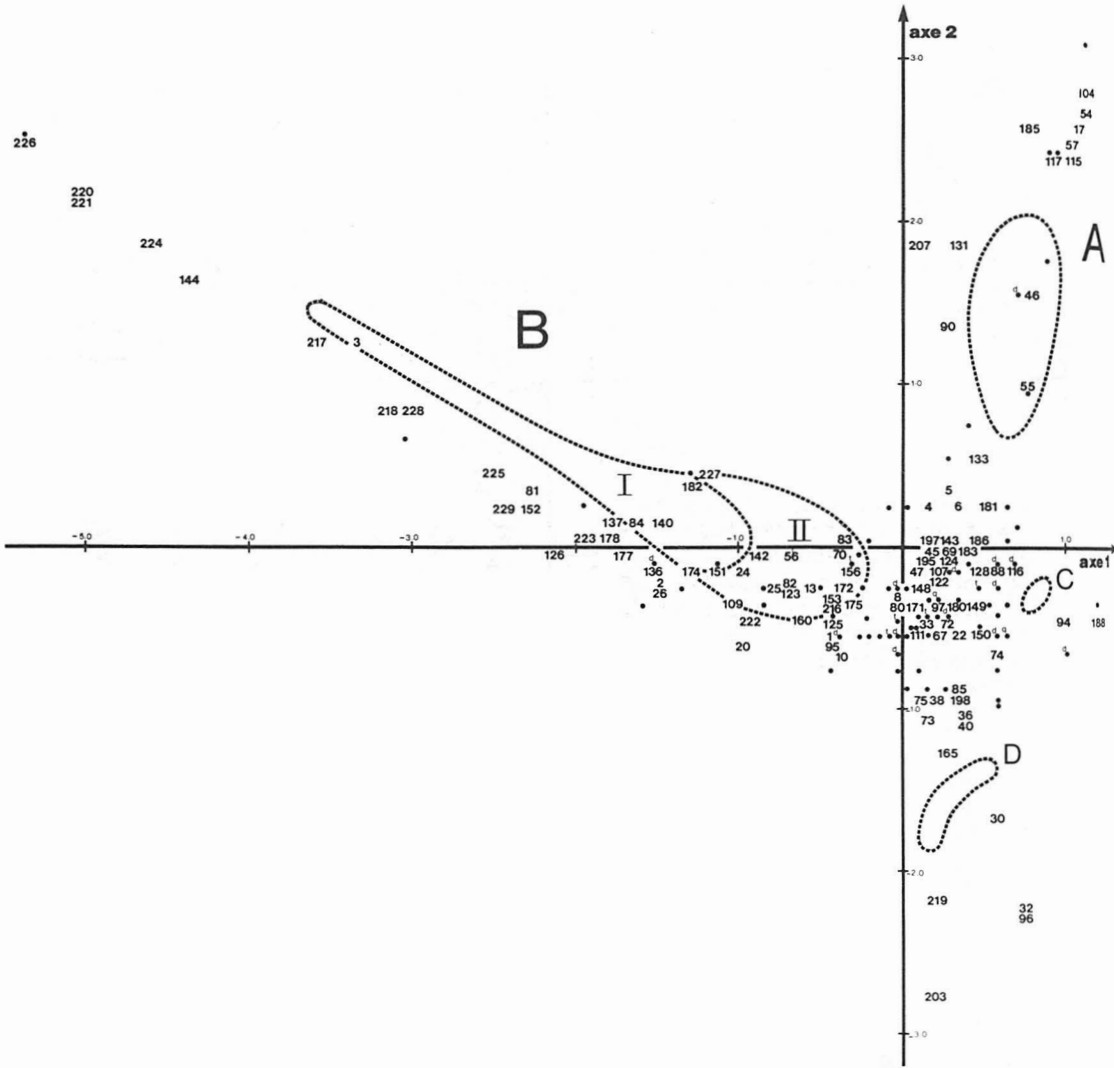


Figure 3. Carte factorielle de la totalité des espèces. Axes 1 et 2. Le contour de chacun des ensembles de relevés: A, B, C et D, individualisés sur la fig. 2, est reporté avec la réduction d'échelle appropriée. Seules les espèces identifiées au tableau 2 sont numérotées; la localisation des autres espèces est indiquée par des points: ● = 1 espèce, ◐ = 2 espèces, ◑ = 3 espèces, ◒ = 4 espèces.

tion intermédiaire de *Poa pratensis* (133), entre l'ensemble A et les relevés du pâturage à *Festuca rubra* (●), illustre la position d'une espèce liée à deux ensembles.

Dans le quatrième quadrant, 5 relevés prennent des positions excentriques, ils forment deux petits nuages distincts: C et D (fig. 2). Les deux relevés de C (nos 96 et 97) avaient été rattachés au pâturage à *Agrostis tenuis* par Bouchard (1970). Ils proviennent cependant de stations humides localisées sur des alluvions récentes, dépo-

sées en bordure du fleuve Saint-Laurent. La position prise par ces deux relevés indiquerait une composition floristique originale soulignée par *Triglochin maritima* (188) et par *Juncus balticus* (94) deux hygrophytes des rivages (carte factorielle des espèces, fig. 3). L'analyse des correspondances montre que ces relevés 96 et 97 (stations 21 et 22, tableau I) doivent être distingués du pâturage à *Agrostis tenuis* au sens large, que l'on retrouve surtout sur des tills sablo-pierreux ou des terrasses

TABLEAU II

Liste des espèces numérotées sur les cartes factorielles (fig. 3 et 5).
La nomenclature des espèces repose en majeure partie sur les travaux de Fernald (1950), de Crum, Steere et Anderson (1965) et de Hale et Culberson (1966).

1 - <i>Abies balsamea</i>	124 - <i>Phleum pratense</i>
2 - <i>Acer rubrum</i>	125 - <i>Picea glauca</i>
3 - <i>Acer saccharum</i>	126 - <i>Picea rubens</i>
4 - <i>Achillea millefolium</i>	128 - <i>Plantago major</i>
5 - <i>Agropyron repens</i>	131 - <i>Poa compressa</i>
6 - <i>Agrostis alba</i>	133 - <i>Poa pratensis</i>
8 - <i>Agrostis tenuis</i>	136 - <i>Populus grandidentata</i>
10 - <i>Alnus rugosa</i>	137 - <i>Populus tremuloides</i>
13 - <i>Anaphalis margaritacea</i>	140 - <i>Potentilla canadensis</i>
17 - <i>Asclepias syriaca</i>	142 - <i>Potentilla tridentata</i>
20 - <i>Aster foliaceus</i>	143 - <i>Prunella vulgaris</i>
22 - <i>Aster puniceus</i>	144 - <i>Prunus pensylvanica</i>
24 - <i>Aster umbellatus</i>	148 - <i>Ranunculus acris</i>
25 - <i>Betula papyrifera</i>	149 - <i>Ranunculus repens</i>
26 - <i>Betula populifolia</i>	150 - <i>Rhinanthus crista - galli</i>
30 - <i>Carex angustior</i>	151 - <i>Rubus allegheniensis</i>
32 - <i>Carex canescens</i>	152 - <i>Rubus canadensis</i>
33 - <i>Carex crawfordii</i>	153 - <i>Rubus idaeus</i>
36 - <i>Carex granularis</i>	156 - <i>Rumex acetosella</i>
38 - <i>Carex nigra</i>	160 - <i>Salix bebbiana</i>
40 - <i>Carex stipata</i>	161 - <i>Salix discolor</i>
43 - <i>Cerastium vulgatum</i>	162 - <i>Salix humilis</i>
45 - <i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	165 - <i>Scirpus atrocinctus</i>
46 - <i>Cichorium intybus</i>	171 - <i>Solidago canadensis</i>
47 - <i>Cirsium arvense</i>	172 - <i>Solidago graminifolia</i>
54 - <i>Cynoglossum officinale</i>	174 - <i>Solidago nemoralis</i>
55 - <i>Dactylis glomerata</i>	175 - <i>Solidago rugosa</i>
56 - <i>Danthonia spicata</i>	177 - <i>Spiraea latifolia</i>
57 - <i>Echium vulgare</i>	178 - <i>Spiraea tomentosa</i>
67 - <i>Euphrasia canadensis</i>	180 - <i>Stellaria graminea</i>
69 - <i>Festuca rubra</i>	181 - <i>Taraxacum officinale</i>
70 - <i>Fragaria virginiana</i>	182 - <i>Trifolium agrarium</i>
72 - <i>Galium palustre</i>	183 - <i>Trifolium hybridum</i>
73 - <i>Gentiana linearis</i>	184 - <i>Trifolium pratense</i>
74 - <i>Geum rivale</i>	185 - <i>Trifolium procumbens</i>
75 - <i>Glyceria canadensis</i>	186 - <i>Trifolium repens</i>
80 - <i>Hieracium aurantiacum</i>	188 - <i>Triglochin palustris</i>
81 - <i>Hieracium flagellare</i>	195 - <i>Veronica serpyllifolia</i>
82 - <i>Hieracium florentinum</i>	197 - <i>Vicia cracca</i>
83 - <i>Hieracium pilosella</i>	198 - <i>Viola pallens</i>
84 - <i>Hieracium vulgatum</i>	203 - <i>Aulacomnium palustre</i>
85 - <i>Hydrocotyle americana</i>	207 - <i>Ceratodon purpureus</i>
88 - <i>Hypericum ellipticum</i>	216 - <i>Polytrichum commune</i>
90 - <i>Hypericum perforatum</i>	217 - <i>Polytrichum juniperinum</i>
94 - <i>Juncus balticus</i>	218 - <i>Polytrichum piliferum</i>
95 - <i>Juncus effusus</i>	219 - <i>Sphagnum spp.</i>
96 - <i>Juncus filiformis</i>	220 - <i>Cladina mitis</i>
97 - <i>Juncus tenuis</i>	221 - <i>Cladina rangiferina</i>
104 - <i>Lithospermum officinale</i>	222 - <i>Cladonia spp.</i>
107 - <i>Lotus corniculatus</i>	223 - <i>Cladonia calycantha</i>
109 - <i>Luzula multiflora</i>	224 - <i>Cladonia chlorophaea</i>
111 - <i>Lycopus uniflorus</i>	225 - <i>Cladonia cristatella</i>
115 - <i>Medicago lupulina</i>	226 - <i>Cladonia digitata</i>
116 - <i>Medicago sativa</i>	227 - <i>Cladonia floerkeana</i>
117 - <i>Nepeta cataria</i>	228 - <i>Cladonia gracilis</i>
122 - <i>Oxalis europaea</i>	229 - <i>Cladonia verticillata</i>
123 - <i>Panicum lanuginosum</i>	

sablo-graveleuses, fluvio-glaciaires ou marines (Bouchard, 1970; Doyon, 1968, 1974). Le nuage C serait l'amorce d'un groupement nouveau que l'on ne peut décrire ici en raison de la faiblesse de l'échantillonnage.

Le groupe D, est constitué des relevés 45, 46 et 47 du pâturage à *Carex nigra* de Doyon (1968). L'analyse de correspondances a dissocié cette catégorie, rapprochant de l'origine les 5 autres relevés de même provenance (fig. 2). Ces derniers se localisent, en effet, dans le 4ième quadrant en périphérie du nuage central comprenant les relevés des herbages à *Agrostis tenuis* (★) et des herbages à *Festuca rubra* (●); cette position souligne leur composition floristique intermédiaire. Le nuage D constituerait le noyau d'un groupement original et fortement individualisé qui serait floristiquement caractérisé par des espèces comme *Aulacomnium palustre* (203), *Carex canescens* (32) et *Juncus filiformis* (96). Ces espèces des sols très humides, projetées en bas et à droite du nuage D (fig. 3), sont liées exclusivement aux relevés de ce nuage.

Les groupes désignés comme A, C et D ne touchent que 17 des 146 relevés. C'est dire que la figure 2 compte encore 125 points-relevés plus ou moins concentrés près de l'origine et répartis le long de l'axe 1. De ces points restants, un certain nombre s'étalent à gauche de l'ordonnée et se détachent des autres situés près de l'origine; ce sont des points-relevés que nous avons regroupé dans l'ensemble B. Ce dernier s'étend dans les quadrants 2 et 3 et englobe une grande partie des points-relevés ayant une abscisse négative (fig. 2). Le tracé délimitant l'ensemble B à la fig. 2 a été adopté après avoir constaté que cet ensemble conservait non seulement son individualité sur le plan des axes 1 et 3 résultant de l'analyse effectuée sur la totalité des relevés (146) mais également sur les plans 1-2 et 1-3 provenant de l'analyse d'une matrice partielle (124 relevés), ne contenant plus les données relatives aux groupes A, C et D.

L'ensemble B apparaît à la figure 2 dans une région du plan fortement dominée par les points-relevés du pâturage à *Danthonia spicata* (□), contrairement aux points-relevés situés près de l'origine qui sont majoritairement à dominance d'*Agrostis tenuis* (★) ou de *Festuca rubra* (●). L'ensemble B s'individualise floristiquement par le fait qu'il se trouve dans un secteur (2ième

et 3ième quadrant) où sont projetées toutes les entités des genres *Cladonia*, *Cladina*, *Polytrichum*, un très grand nombre d'essences ligneuses et de grandes herbes des sols bien drainés, envahissant les pâturages sous-utilisés et dégradés (fig. 3).

La répartition spatiale des points-relevés (fig. 2) et de la flore correspondante (fig. 3) nous a mené à scinder B en deux sous-ensembles I et II. Le sous-ensemble I est le mieux individualisé des deux ayant peu d'affinité avec les relevés situés près de l'origine (fig. 2). Ceci se traduit sur la carte des espèces (fig. 3) par un éloignement marqué de B-I par rapport aux espèces communes aux divers types de pâturages: *Achillea millefolium* (4), *Vicia cracca* (197), *Festuca rubra* (69), *Chrysanthemum leucanthemum* (45), *Pheum pratense* (124), *Agrostis tenuis* (8), *Fragaria virginiana* (70), *Oxalis europaea* (122), *Ranunculus acris* (148).

Ce qui distingue encore mieux le groupe de relevés B-I, c'est la présence exclusive de certaines espèces (projetées près ou au-delà du tracé de B-I (fig. 3). Ces entités caractéristiques sont:

Cladonia floerkeana (227), *Cladonia gracilis* (228), *Cladonia cristatella* (225), *Cladonia verticillata* (229), *Polytrichum juniperinum* (217), *Polytrichum piliferum* (218), *Hieracium flagellare* (81), *Potentilla canadensis* (140).

À ces espèces, il faut ajouter *Cladonia digitata* (226), *Cladonia mitis* (220), *Cladonia rangiferina* (221) et *Cladonia chlorophaea* (224) projetés au-delà du tracé de B (dans le 2ième quadrant). Ils sont exclusifs aux seuls relevés 132 et 124 dont le score sur l'axe 2 semble exagérément élevé en considération des faibles différences floristiques en cause.

Le sous-ensemble B-II est composé à part presque égale de pâturages à *Danthonia spicata* et de pâturages à *Agrostis tenuis* (fig. 2). La flore de B-II, comme celle de B-I, compte toujours *Danthonia spicata* (56) (fig. 3), comparativement, beaucoup moins d'espèces du genre *Cladonia*, *Cladina* et *Polytrichum* et un cortège plus important d'espèces à large distribution: *Achillea millefolium*, *Agrostis tenuis* et autres. Le groupe B-II est un assemblage de relevés dont la position intermédiaire marque bien son caractère de transition entre B-I et les autres relevés localisés près de l'origine (fig. 2).

Reste maintenant à interpréter le nuage central situé près de l'origine et qui a été subdivisé en deux secteurs par une ligne

tirée (fig. 2). Les deux analyses partielles qui ont servies à cet effet sont décrites dans le texte qui suit.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE LA DEUXIÈME ANALYSE PARTIELLE

Vient d'abord une analyse factorielle portant sur la matrice partielle (98 X 131), obtenue après élimination des données concernant les groupes A, B, C et D. Elle nous a amenés à retirer un certain nombre de relevés. En effet, cette analyse partielle

(dont les résultats ne sont pas illustrés) a fait apparaître plusieurs relevés occupants des positions excentriques; leur dispersion ne permet pas de les réunir pour former des groupes homogènes. Parmi les relevés ainsi éliminés, 6 en provenance du comté de Lévis avaient été réunis par Doyon (1974) sous le nom d'association à *Agrotis tenuis*, sous-association à *Trifolium repens*. De même, 5 relevés de Petite-Rivière-Saint-François (comté de Charlevoix) ont du être éliminés pour les mêmes raisons. De telles

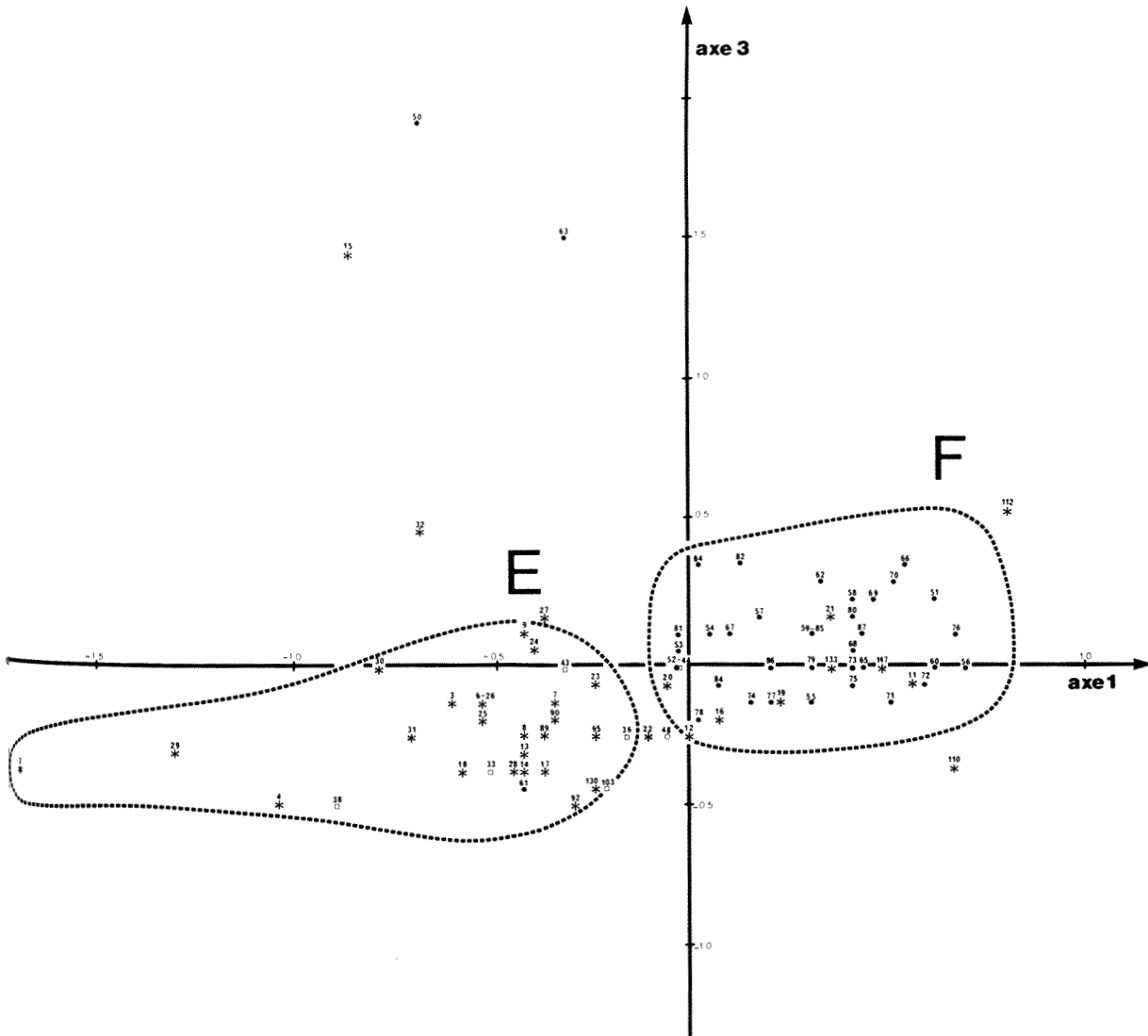


Figure 4. Carte factorielle des relevés de l'analyse sur la dernière matrice partielle. Axes 1 et 3. Limites des ensembles E et F en lignes tiretées. ● = relevés des pâturages à *Festuca rubra*, * = pâturage à *Agrotis tenuis*, □ = pâturage à *Danthonia spicata*, ○ pâturage à *Carex nigra* et ●] = 2 relevés de 2 types de pâturages sur un même point.

éliminations sont nécessaires puisque le but du travail ne consiste pas à classer des relevés dans des catégories pré-établies et plus ou moins élastiques mais à définir des entités nouvelles, s'il y a lieu. Pour arriver à établir précisément la composition floristique de ces entités, on doit se baser sur des ensembles ne contenant pas de relevés étrangers. La connaissance des

groupements permet ensuite de reconnaître parmi les relevés exclus: ceux provenant de stations «hybrides», ceux de stations appauvries ou ceux de stations représentant un stade évolutif particulier (envahissement par les arbustes ou les espèces arbustives par exemple), ou même un groupement intermédiaire et homogène mais insuffisamment échantillonné.

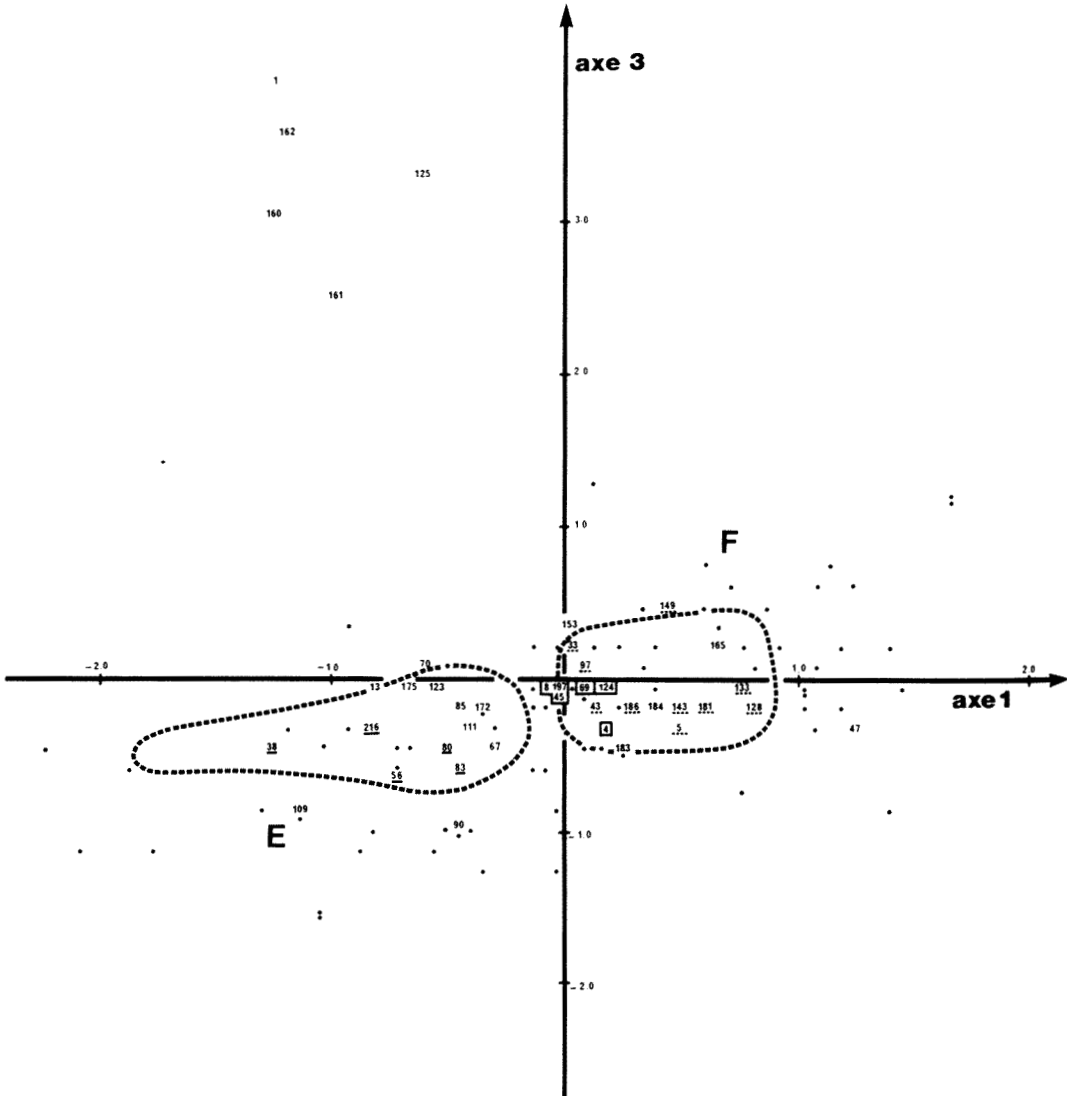


Figure 5. Carte factorielle des espèces de l'analyse sur la dernière matrice partielle. Axes 1 et 3. Le contour de chacun des 2 ensembles E et F individualisés sur la fig. 4 est reporté avec la réduction d'échelle appropriée. Seules les espèces identifiées au tableau 2 sont numérotées; les autres sont représentées par un point (●). Espèces encadrées □ = espèces communes à la plupart des groupements. Espèces soulignées par une ligne continue (—) = espèces préférentielles de l'ensemble E. Espèces soulignées par une ligne tiretée (- -) = espèces préférentielles de F.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE LA TROISIÈME ANALYSE PARTIELLE (fig. 4 et 5)

L'élimination des relevés effectués précédemment a réduit la matrice à 82 relevés X 121 espèces. Ces relevés constituent la majorité des points du nuage observé près de l'origine sur la carte factorielle de la figure 2. Déjà sur ce diagramme, une ligne tirée soulignait la division du nuage central en deux secteurs: l'un surtout dominé par les relevés du pâturage à *Agrostis tenuis* (★), l'autre par ceux du pâturage à *Festuca rubra* (●).

L'analyse des correspondances effectuée sur cette matrice réduite (formée de relevés rapprochés de l'origine) confirme le bien-fondé de la distinction esquissée sur la figure 2 et fait même apparaître une disjonction du nuage en deux groupes de relevés désignés comme E et F aux figures 4 et 5. Cette distinction apparaît sur le plan des axes 1-2 (non illustré) comme sur celui des axes 1-3 (fig. 4) où l'on voit le sous-ensemble F, surtout représenté sur la partie positive de l'axe 1, s'opposant au sous-ensemble E, compris exclusivement dans la partie négative du même axe.

Les ensembles E et F situés tous deux à proximité de l'origine se différencient très faiblement l'un de l'autre; les valeurs propres très voisines des trois premiers axes en sont d'ailleurs une indication: 0,246, 0,216 et 0,205. Seul le premier axe a une valeur explicative assez importante; le deuxième et le troisième sont secondaires. Il est logique qu'il en soit ainsi étant donné que les éléments de la matrice de départ contribuant le plus à l'axe 2 (les données relatives aux ensembles A, D et B) et à l'axe 3 (ensembles B et C) ont été retirées. Le degré de discrimination entre les unités dans un tel cas est très faible et l'analyse des correspondances met en relief des variations mineures. Par exemple, on verra sur la figure 4 que les relevés 15, 50 et 63 ont été écartés (quadrant 2) du noyau central de relevés du seul fait de la présence de quelques plants (semis) de *Salix* (160, 161 et 162) et/ou de *Picea rubens* (125) (fig. 5).

Un retour aux diagrammes 2 et 3 révèle que les relevés des ensembles E et F et les espèces qu'ils contiennent se projettent à proximité de l'origine. Une telle position indique que ces groupes possèdent, et avec une forte fréquence, de nombreuses espèces présentes dans l'ensemble des relevés analysés. Ces espèces à grande am-

plitude contribuent à rapprocher E et F, ce sont principalement: *Agrostis tenuis* (8), *Vicia cracca* (197), *Achillea millefolium* (4), *Festuca rubra* (69), *Phleum pratense* (124).

Communes aux ensembles E et F, leurs projections entourent l'origine sur le diagramme 5. Le fait, que le secteur qui correspond aux projections des relevés de F contienne l'origine, montre que ces espèces sont présentes dans la quasi totalité des relevés de F.

Les entités qui contribuent le plus à différencier l'ensemble E du F sont d'abord des espèces à % de présence élevé: *Polytrichum commune* (216), *Danthonia spicata* (56), *Hieracium pilosella* (83), *Carex nigra* (38); ensuite, des espèces moins fréquentes telles: *Anaphalis margaritacea* (13) et *Luzula multiflora* (109).

Ces deux dernières mises à part, les espèces de l'ensemble E contribuant le plus à l'axe 1 sont donc surtout des transgressives d'autres groupements comme les pâturages dégradés à *Danthonia spicata* (sous-ensemble B-I) ou des prairies humides à *Carex nigra* (ensemble D). L'apport des grandes herbes envahissantes, surtout des *Solidago* (172, 175), est plus prononcé dans E que dans F.

Les entités qui contribuent le plus à distinguer F par rapport à E, telles que *Ranunculus repens* (149), *Plantago major* (128), *Poa pratensis* (133), *Prunella vulgaris* (143) et *Taraxacum officinale* (181), sont des espèces spontanées à tendances nitrophiles (Doyon, 1968).

On remarquera aussi que c'est dans le secteur occupés par F que se trouvent les espèces fourragères semées et/ou favorisées par la fertilisation du sol: les *Trifolium* (186, 184 et 183) en sont de bons exemples.

Discussion

Dans ce chapitre, les résultats de l'interprétation des 4 analyses des correspondances seront commentés en regard de la classification des «types de pâturages» de Doyon (1965, 1968 et 1974) et de Bouchard (1970). Chaque ensemble (ou sous-ensemble) comporte un effectif variable de relevés en provenance d'un, deux ou de plusieurs types de pâturages (tableau III). La définition floristique des groupes importants est synthétisée au tableau IV.

TABLEAU III

Répartition des relevés des types de pâturages (Doyon, 1965, 1968, 1974; Bouchard, 1970) dans les ensembles délimités à la suite des analyses de correspondances

Type de pâturage	Analyses effectuées								Relevés éliminés	Total	
	No 1: 146 relevés			Nos. 1 et 2: 146 et 124 r.		Nos. 3 et 4: 98 et 82 r.					
	Ensembles			Ensemble		Ensembles					
	A	C	D	B		E	F				
				I	II						
à <i>Agrostis tenuis</i>	—	2	—	2	7	26	11	15	63		
à <i>Danthonia spicata</i>	—	—	—	7	10	5	1	1	24		
à <i>Festuca rubra</i>	—	—	—	—	—	1	34	3	38		
à <i>Carex nigra</i>	—	—	3	—	—	—	—	5	8		
à <i>Festuca rubra</i> et <i>Medicago lupulina</i>	13	—	—	—	—	—	—	—	13		
Total	13	2	3	9	17	32	46	24	146		

CATÉGORIE D'ORIGINE DES RELEVÉS CONSTITUANT LES DIFFÉRENTS GROUPES

Le tableau III montre que chaque ensemble comporte un effectif variable de relevés provenant de 1, 2 ou 3 types de pâturages et met en évidence des situations très différentes.

L'ensemble A exclusivement constitué par les pâturages à *Festuca rubra* et *Medicago lupulina* est composé de relevés floristiquement homogènes; il est caractérisé par un certain nombre d'espèces qui le différencie nettement des autres pâturages. Il peut servir aisément à la définition d'un groupement végétal bien individualisé.

L'ensemble C est formé de 2 relevés classés précédemment dans les pâturages à *Agrostis tenuis* mais dont la composition floristique globale est originale par certains éléments. Cet ensemble suggère l'existence d'un nouveau type de groupement qui ne peut-être décrit ici en raison de la faiblesse de l'échantillonnage.

Une situation semblable se retrouve pour le groupe D. L'analyse a «épuré» le pâturage à *Carex nigra* ne conservant que 3 relevés de cette catégorie. Ces relevés constituent le noyau d'un véritable pâturage à *Carex nigra*, sens. str. dont la composition floristique devrait être précisée en effectuant de nouveaux relevés.

Quant aux pâturages à *Agrostis tenuis* et à ceux à *Danthonia spicata*, ils se retrouvent dans les ensembles B, E et F. On peut

distinguer en B une prédominance des pâturages à *Danthonia spicata*, en E, à *Agrostis tenuis* et en F, à *Festuca rubra*; il n'y a cependant aucune concordance stricte entre les relevés de l'un de ces ensembles et de l'un ou l'autre des types de pâturages. Ceci souligne de façon manifeste la différence entre le classement en catégories de pâturages basé surtout sur la dominance d'une espèce et celui des ensembles floristiquement homogènes obtenu après l'analyse factorielle des correspondances sur les listes floristiques complètes.

Dans l'ensemble F, par exemple, on trouve 11 relevés de pâturages à *Agrostis tenuis* associés aux 34 pâturages à *Festuca rubra*. Différenciés par rapport à l'espèce dominante, ces deux groupes sont très apparentés par leur composition floristique, entre autres par la présence d'espèces spontanées nitrophiles et de plantes fourragères semées qui sont le propre de jeunes herbages rénovés par labours, semis et fertilisation (Doyon, 1968). Quelques observations indiquent la possibilité que la dominance de *Festuca rubra* soit favorisée là où l'herbage semée est utilisée pour le foin pendant quelques années avant de servir à la paissance.

Il pourrait arriver que pour résoudre des problèmes d'aménagement ou de mise en valeur, la distinction de tels faciès ou de telles variantes (dans F par exemple) basée sur la dominance de *Festuca rubra* ou d'*Agrostis tenuis* puisse être utile. Dans ces circonstances, l'utilisation du critère

TABLEAU IV

Synthèse floristique des principaux ensembles délimités par l'interprétation de l'analyse de correspondance. L'ordre des ensembles suit leur position respective dans le diagramme représentant les axes 1 et 2 (de gauche à droite sur la fig. 2). Les données de présence proviennent des travaux de Doyon (1965, 1968, 1974) et de Bouchard (1970). Classe de présence I = 1 à 20% des relevés, II = 21 à 40% des relevés, III = 41 à 60% des relevés, IV = 61 à 80% des relevés et V = 81 à 100% des relevés.

ENSEMBLES	B		E	F	A
	I	II			
SOUS-ENSEMBLES					
NOMBRES DE RELEVÉS	9	17	32	46	13
1. ESPÈCES COMMUNES					
ACHILLEA MILLEFOLIUM.....	IV	II	I	II	V
HIERACIUM PILOSELLA.....	V	V	IV	II	III
VICIA CRACCA.....	III	II	III	IV	V
FESTUCA RUBRA.....	I	III	IV	V	V
CHRYSANTHEMUM LEUCANTHEMUM.....	I	II	IV	IV	IV
PHLEUM PRATENSE.....	I	II	III	V	V
AGROPYRON REPENS.....	II	I	I	III	III
AGROSTIS ALBA.....	I	I	II	III	IV
OXALIS EUROPAEA.....	I	II	II	IV	II
RANUNCULUS ACRIS.....	II	II	IV	IV	II
AGROSTIS TENUIS.....	V	IV	V	V	I
RUMEX ACETOSELLA.....	IV	III	IV	III	I
POLYTRICHUM COMMUNE.....	IV	III	IV	I	-
FRAGARIA VIRGINIANA.....	V	III	III	II	II
DANTHONIA SPICATA.....	V	V	II	I	I
PANICUM LANUGINOSUM.....	II	III	II	I	-
HIERACIUM AURANTIACUM.....	II	III	III	I	-
SOLIDAGO RUGOSA.....	IV	III	II	I	-
SOLIDAGO GRAMINIFOLIA.....	IV	III	III	II	-
2. ESPÈCES À CARACTÈRES DIFFÉRENTIELS					
CLADONIA GRACILIS.....	II	-	-	-	-
POLYTRICHUM JUNIPERINUM.....	II	-	-	-	-
CLADINA RANGIFERINA.....	I	-	-	-	-
HIERACIUM CANADENSE.....	I	-	-	-	-
CLADINA MITIS.....	I	-	-	-	-
PRUNUS PENNSYLVANICA.....	II	-	-	-	-
ACER SACCHARUM.....	II	-	-	-	-
CLADONIA SP.....	-	I	-	-	-
CLADONIA VERTICILLATA.....	III	I	-	-	-
CLADONIA CRISTATELLA.....	III	I	-	-	-
POLYTRICHUM PILIFERUM.....	II	I	-	-	-
SPIRAEA TOMENTOSA.....	II	I	-	-	-
HIERACIUM VULGATUM.....	IV	I	I	-	-
TRIFOLIUM AGRARIUM.....	III	I	I	-	I
RUBUS ALLEGHENIENSIS.....	I	II	I	-	-
HYPERICUM PERFORATUM.....	-	I	I	-	-
CAREX NICRA.....	-	-	II	-	-
CAREX CRAWFORDII.....	I	I	I	III	-
JUNCUS TENUIS.....	I	-	III	IV	-
RANUNCULUS REPENS.....	-	-	I	III	-
PLANTAGO MAJOR.....	-	I	I	III	-
TRIFOLIUM PRATENSE.....	-	II	II	IV	-
CERASTIUM VULGATUM.....	I	I	II	III	II
POA PRATENSIS.....	-	I	I	III	V
TARAXACUM OFFICINALE.....	-	-	I	IV	V
TRIFOLIUM REPENS.....	-	-	II	V	V
DACTYLIS GLOMERATA.....	-	-	I	I	II
MEDICAGO LUPULINA.....	-	-	-	-	V
ECHIUM VULGARE.....	-	-	-	-	IV
ASCLEPIAS SYRIACA.....	-	-	-	-	III
CYNOGLOSSUM OFFICINALE.....	-	-	-	-	II
CICORIUM INTYBUS.....	-	-	-	-	II
NEPETA CATARIA.....	-	-	-	-	I

«abondance des espèces» pourrait remplacer celui de «présence-absence» dans l'analyse.

DÉFINITION FLORISTIQUE DES ENSEMBLES

L'analyse des correspondances a permis d'étudier la répartition des espèces par rapport aux relevés (fig. 3 et 5). Les relevés à composition floristique semblable sont projetés dans les mêmes zones que les espèces qui les caractérisent. On remarquera tout particulièrement la position excentrique des espèces exclusives à certains relevés (ou ensembles de relevés); à titre d'exemples: les espèces exclusives à l'ensemble A dans la partie gauche et au haut du diagramme de la figure 3; la position de *Triglochin maritima* (no 188) à droite de l'ensemble C; celle d'*Aulacomnium palustre* (no 203) en bas de l'ensemble D comme d'ailleurs *Carex canescens* (no 32), *Juncus filiformis* (no 96) et *Sphagnum* sp. (no 219).

Dans le voisinage de l'origine (figures 3 et 5), les espèces qu'on y trouve concentrées sont des entités communes à un grand nombre de relevés: ces espèces, rassemblées pour la plupart dans le groupe 1 du tableau IV contribuent à accentuer le degré de similitude entre relevés. Les espèces qui contribuent à isoler les relevés sont surtout celles du groupe 2 (tableau IV); elles ont une distribution restreinte leur conférant un caractère différentiel.

L'analyse de correspondances met l'accent sur ces espèces discriminantes (ou à caractère différentiel) bien que la liste floristique complète de chacun des relevés intervienne dans les calculs. Certaines comparaisons avec les liaisons entre groupes de relevés exprimées par l'indice de similitude sont ici très intéressantes. Les valeurs de cet indice ont été calculées à partir des % de présence (dans chaque ensemble) des espèces qui apparaissent au tableau II. L'indice de similitude où chaque espèce de la liste intervient avec un poids égal permet très bien de constater que les ensembles A et B qui sont en position très opposées sur la figure 2 sont évidemment aussi peu liés floristiquement: 25% de similitude entre B-1 et A et 34%, entre B-11 et A. De même, l'indice de similitude entre les ensembles les plus rapprochés sur le diagramme des relevés comporte les valeurs plus élevées: 66% entre E et B-11 et 63% entre E et F. On peut également vérifier que E étant le

groupe central comme l'illustre la figure 2, il totalise la plus forte somme d'indices de similitude avec les autres groupes: B-1, B-11, F et A. L'analyse des correspondances a permis également de dissocier de façon très évidente les ensembles F et A bien que leur indice de similitude (56%) soit comparable à celui des sous-ensembles B-1 et B-11 (58%), pratiquement continus sur le diagramme des relevés (fig. 2).

À la suite de ce travail, il est possible d'identifier des espèces permettant de différencier les ensembles et ainsi de réunir les relevés dans des groupements de composition floristique définie et homogène (tableau IV). Ces taxons pourraient servir à construire une nouvelle terminologie désignant non plus les pâturages par la graminée dominante mais mieux par l'espèce ou les espèces caractéristiques du groupement considéré.

SIGNIFICATION ÉCOLOGIQUE DES AXES FACTORIELS

Lors de l'interprétation des résultats de l'analyse des correspondances appliquée à l'ensemble des données, il a été montré que la majorité des relevés se projettent, sur le plan des axes 1-2 (fig. 2) en un nuage plus ou moins allongé sur l'axe 1.

La position des 2 relevés du groupe C est due à leur composition floristique particulièrement originale qui se manifeste surtout par sa contribution importante à la formation de l'axe 3. Cette discrimination de C des pâturages à *Agrostis tenuis* au sens large se justifie au point de vue écologique du fait que ce groupe de relevés est exclusif aux terrasses alluviales en bordure du Saint-Laurent (Bouchard, 1970).

Le reste du nuage s'étire depuis un pôle positif où se situent de façon prédominante les pâturages à *Festuca rubra* (groupe F), jeunes herbages contenant entre autres quelques espèces semées et des espèces nitrophiles, vers un pôle négatif constitué par les pâturages à *Danthonia spicata* (groupe B), peu broutés et envahis par de grandes herbes et des semis d'espèces arborescentes. Les pâturages à *Agrostis tenuis* du groupe E sont en position intermédiaire ce qui se reflète également dans son écologie (Doyon, 1968). L'axe 1 met en évidence un gradient floristique-dynamique traduisant un envahissement des herbages par de grandes herbacées et des espèces ligneuses.

Cette évolution va de pair avec une diminution de la paissance, une augmentation de l'âge des pâturages (âge: période écoulée depuis la dernière rénovation), une baisse de la fertilité du sol d'autant plus appréciable que sa texture est plus grossière (Doyon, 1968 et Bouchard, 1970).

Il est intéressant de noter que l'on peut attribuer la même signification écologique à l'axe 1 de la dernière analyse partielle.

L'axe 2 (fig. 2) oppose le groupe D (ordonnées négatives), constitué de relevés du pâturage à *Carex nigra* provenant de stations à sols mals drainés (Doyon, 1968 et Bouchard, 1970), à l'ensemble A (ordonnées positives) du pâturage à *Festuca rubra* et *Medicago lupulina* groupement installé sur sols calcaires et secs. (Doyon, 1965). On peut donc considérer l'axe 2 comme un axe de drainage où les groupes B, E et F (représentant des pâturages sur sols à drainage bon à imparfait) sont en positions intermédiaires entre les pôles extrêmes (groupes D et A).

Dans certains cas, ces deux facteurs ou plutôt groupes de facteurs exprimés par les axes factoriels ne sont pas indépendants. C'est ainsi que leur action combinée dans les stations de B se traduit par l'allongement oblique de cet ensemble.

Cet essai d'interprétation écologique des axes factoriels confirme les résultats obtenus par plusieurs auteurs (Ritter, 1969, Béguin *et al.*, 1974). L'analyse factorielle des correspondances de données floristiques peut mettre en évidence des liaisons objectives entre groupements végétaux et paramètres écologiques sans que ces derniers n'aient été introduits explicitement dans la matrice de départ.

Conclusion

En comparaison avec le classement des relevés basé sur la notion des « types de pâturages » et utilisé antérieurement, l'application de l'analyse des correspondances a permis: 1) de définir de façon plus objective des ensembles de relevés floristiquement homogènes et de faire ressortir plus clairement les espèces exclusives ou différentielles; 2) de déterminer le degré d'individualisation relatif de ces ensembles, en fonction de leur éloignement de l'origine des diagrammes de relevés; 3) de situer les affinités de ces ensembles dans plusieurs directions ou selon plusieurs axes facto-

riels (facteurs) dont les deux premiers au moins peuvent vraisemblablement traduire: le premier, l'évolution ou le dynamisme de la flore et l'autre l'humidité des stations. Les ensembles A, C et D ont pu être isolés surtout en fonction de l'axe 2 tandis que l'axe 1 ordonne les ensembles B, E et F.

Remerciements

Nous remercions Monsieur Roland Robitaille du Service de l'informatique ainsi que Monsieur Jean-Guy Denis du Service de recherche en défense des cultures, du Ministère de l'agriculture du Québec, pour leur collaboration empressée au cours de la réalisation de ces travaux.

Références

- AUSTIN, M.P., 1976. Performance of four ordination techniques assuming three different non-linear species response models. — *Vegetatio*, 33 (1): 43-49.
- BARRALIS, G., 1975. Méthode d'étude des groupements d'adventices des cultures annuelles: application à la Côte-D'or. — *Communications présentées au 5ième Colloque International sur l'écologie et la biologie des mauvaises herbes*: 59-68 Lab. de Malherbologie, Dijon.
- BÉGUIN, C., J. RITTER et M. ROUX, 1974. Application de l'analyse factorielle des correspondances à la phytosociologie de quelques groupements culmineaux du secteur delphinojurassien. — *Bull. Soc. Bot. Suisse*, 84 (3): 218-242.
- BENNINGHOFF, W.S., 1966. The relevé method for describing vegetation. — *Mich. Bot.*, 5: 109-114.
- BENZÉCRI, J.P., 1973. L'analyse des données. Tomes I et II. — Dunod, Paris, 615 p., 619 p.
- BOUCHARD, C.-J., 1970. Étude de la végétation de l'enclave de la Petite-Rivière-Saint-François (Charlevoix). — Thèse de maîtrise non-publiée. Université Laval, 150 pages.
- BOULET, L.-J., 1946. L'importance des pâturages naturels dans le Québec. — *Sci. Agr.*, 26: 212-215.
- BOUXIN, G., 1976. Ordination and classification in the Upland Rugege Forest (Rwanda, Central Africa). — *Vegetatio*, 32 (2): 97-115.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1932. *Plant sociology*. (Eng. transl. by G.D. Fuller and H.S. Conard) — McGraw-Hill, New-York, 439 p.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1951. *Pflanzensoziologie*. — Springer Verlag, Wien, 631 p.
- CONÉSA, A.P., M. ROUX et P. BOUILLON, 1975. Étude globale de la culture de la betterave à sucre sur le périmètre du Haut Chélif. I. Analyse factorielle des correspondances. — *Ann. agron.*, 26 (6): 709-740.

- CORDIER, B., 1965. Analyse des correspondances. — Thèse, Fac. des sciences de Rennes, France, 65 p.
- CRUM, H., W.C. STEERE and L.E. ANDERSON, 1965. A list of mosses of North America. — *Bryologist*, 68 (4): 377-432.
- DAGET, J., 1976. Les modèles mathématiques en écologie. — Masson, Paris, 172 p.
- DE BILDE, J., R. GORENFLOT et J.P. BRIANE, 1977. Traitement numérique de populations du *Silene nutans* L. d'Europe nord-occidentale et centrale. — *Rev. gén. Bot.*, 84: 341-354.
- DORE, W.G., 1949. Pasture associations of Eastern Canada. — Ohio Sta. University, Abstr. Doct. Diss., 56: 225-229.
- DOYON, D., 1965. Les pâturages semi-naturels à *Festuca rubra* sur certains sols dérivés de matériaux calcaires. — *Naturaliste can.*, 92 (3-5): 109-120.
- DOYON, D., 1968. La végétation des pâturages naturels de Saint-Féréol et de Saint-Tite-des-Caps, Comté de Montmorency. — *Naturaliste can.*, 95 (2): 367-397.
- DOYON, D., 1974. Étude éco-dynamique de la végétation du Comté de Lévis. — Agriculture Québec. Service de la défense des cultures. Mémoire n° 1: 428 p. + tableaux et figures en annexe.
- FERNALD, M.L., 1950. *Gray's Manual of Botany.*, — New York, 1632 p.
- GAUCH, H.G. Jr, R.H. WHITTAKER and T.R. WENTWORTH, 1977. A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. — *J. Ecol.*, 65: 157-174.
- GORENFLOT, R., J.P. BRIANE, D. CARTIER, H. COUDERC et M. GUERN, 1976. L'analyse factorielle des correspondances: application à l'étude de la variation des populations végétales. — *Acta Ecologica Iranica*, 1: 5-25.
- GUINOCHE, M., 1973. *Phytosociologie.* — Masson, Paris, 227 p.
- HALE, M.E. and W.L. CULBERSON, 1966. A third checklist of the lichens of the continental United States and Canada. — *Bryologist*, 69 (2): 141-182.
- HILL, M.O., 1973. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. — *J. Ecol.*, 61: 237-249.
- HILL, M.O., 1974. Correspondence analysis: a neglected multivariate method. — *App. Statist.*, 23 (3): 340-354.
- KLEIN, J.C., 1972. Le *Genisto-Carlinetum macrocephalae* ass. nov. de l'étage montagnard et le *Ligusticetum corsici* ass. nov. de l'étage subalpin des massifs du Cinto et du Campo-tile orientale. — *Vegetatio*, 25 (5-6): 311-333.
- LACOSTE, A. et M. ROUX, 1971. L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. Application à des données de l'étage subalpin des Alpes maritimes. I. L'analyse des données floristiques. — *Oecol. Plant.*, 6: 353-369.
- LACOSTE, A. et M. ROUX, 1972. L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. Application à des données de l'étage subalpin des Alpes maritimes II. L'analyse des données écologiques et l'analyse globale. — *Oecol. Plant.*, 7 (2): 125-146.
- LACOSTE, A., 1976. Relations floristiques entre les groupements prairiaux du *Trisetum-Polygonum* et les mégaphorbiaies (*Adenostylinum*) dans les Alpes occidentales. — *Vegetatio*, 31 (3): 161-176.
- LEBART, L. et J.-P. FÉNÉLON, 1971. *Statistique et informatique appliquées.* — Dunod, Paris, 426 pages.
- LONGCHAMP, J.-P., 1975. Influence des facteurs d'exploitation sur la typologie des prairies permanentes de l'Auxois. — Communication présentées au 5ième Colloque International sur l'écologie et la biologie des mauvaises herbes: 109-119, Lab. de Malherbologie, Dijon
- MÉNARD, M. et J. BÉLANGER, 1976. Étude des relations entre les caractères du milieu et la production forestière par l'analyse factorielle des correspondances. — Min. terres et forêts, Québec. Service de la recherche. Mémoire n° 24, 74 p.
- NOY-MEIR, I. and R.H. WHITTAKER, 1977. Continuous multivariate methods in community analysis: some problems and developments. — *Vegetatio*, 33 (2-3): 79-98.
- RITTER, J., 1972. Les groupements végétaux des étages subalpin et alpin du Vercors méridional. — *Vegetatio*, 24 (4-6): 313-403.
- ROMANE, F., 1972. Utilisation de l'analyse multivariante en phytocécologie. — *Investigacion Pesquera*, 36 (1): 131-139.

LE *CHENOPODIUM STRICTUM* ROTH AU QUÉBEC ET SES CARACTÈRES DISTINCTIFS¹

Camille GERVAIS

Service de recherche en défense des cultures
Ministère de l'agriculture du Québec, Complexe scientifique
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8

Résumé

C. strictum Roth est une espèce introduite, assez mal connue, de la flore du Québec. Pour en faciliter l'identification, des caractères distinctifs se rapportant aux feuilles, aux plantules et aux graines sont ici présentés en même temps qu'une description générale. Des comptages chromosomiques ont également été réalisés sur une partie du matériel étudié et confirment que la plante est tétraploïde ($2n = 36$).

Abstract

In Québec, *C. strictum* Roth is an adventive species that is not very well understood. Discriminating characters, including leaf shape, development of seedlings and seed size are presented together with a general description of the plant, so as to make its identification easier. Chromosome counts have also been made on part of the studied material and they confirm that the species is tetraploid ($2n = 36$).

Introduction

Chenopodium strictum Roth est une espèce dont la description originale, dans le *Systema vegetabilium* de Roemer et Schultes, remonte à 1820. Cette description s'appuyait sur du matériel, récolté aux Indes par le Dr Benjamin Heyne, et que Roth avait examiné. Ce dernier publia d'ailleurs un an plus tard (Roth, 1821) un catalogue des espèces nouvelles découvertes par Heyne et y reprit, plus en détail, la description de *C. strictum*. On peut dire que cette espèce, appartenant à une flore étrangère, retomba quelque peu dans l'oubli par la suite.

Il n'est pas nécessaire de résumer ici l'histoire de ce taxon et de sa nomenclature comme le fait Beaugé (1974) dans sa monographie des chénopodes du groupe *album*, ni de tenter d'expliquer comment cette espèce s'est introduite en Europe et en Amérique. Notons toutefois que la plante a été signalée comme adventice au Québec par Wahl, dès 1954, sous le nom de *C. strictum* var. *glaucophyllum* (Aellen) Wahl, par Rouleau dans la deuxième édition (1964) de la *Flore laurentienne* de Marie-Victorin, par Boivin dans son *Énumération des plantes du Canada*

(1966) et tout dernièrement par Bassett et Crompton (1978) qui l'indiquent pour le sud-ouest du Québec dans un travail sur la biologie de *C. album*.

Matériel et méthodes

Les trois herbiers consultés pour la rédaction de ce travail, celui du Ministère de l'Agriculture du Québec (QUE), celui de l'Université Laval (QFA) et celui de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke (SFS), possèdent chacun quelques spécimens de *C. strictum* et ont permis de dresser le Tableau I auquel s'ajoutent nos récoltes et les nombres chromosomiques lorsqu'ils ont pu être déterminés.

Les comptages chromosomiques réalisés dans ce travail ont tous été faits sur des mitoses de méristèmes radiculaires, les jeunes racines utilisées provenant de graines mises en germination ou, plus rarement, de plantes cultivées en serre. Les racines étaient préalablement traitées par le froid ou par la colchicine à 0,15% avant d'être colorées par le carmin acétique et écrasées, selon la méthode décrite dans un travail précédent (Bouchard et al., 1978a).

¹ Contribution n° 249 de la Direction générale de la recherche et de l'enseignement agricoles, Ministère de l'agriculture du Québec.

Observations et discussion

DISTRIBUTION ET DESCRIPTION GÉNÉRALE

Comme on peut le constater par l'examen du tableau I, *C. strictum* est une espèce récoltée sporadiquement au Québec depuis plusieurs années déjà, dans la partie sud-ouest de la province, bien que deux stations, celle de Saint-Jean-Chrysostome (Lévis) et de Saint-Basile (Portneuf) soient excentriques par rapport à cette aire méridionale. Dans ces deux cas, cependant, les plantes ont été trouvées non loin de chemins de fer, comme d'ailleurs deux spécimens de Sherbrooke (76747, 76865) et un de Saint-Jean (68-86), ce qui nous indique probablement une des principales voies de dissémination, au Québec, de cette espèce introduite.

Quelques-uns des spécimens cités dans le Tableau étaient identifiés comme *C. album* L., *C. glaucum* L. ou encore comme *C. paganum* Reichenb. et il convient d'ouvrir une parenthèse à propos de cette dernière espèce. Une certaine confusion semble régner en effet autour de *C. paganum* que Marie-Victorin (1935) sépare de *C. album* comme «une très grande plante... à tiges fortement striées de rouge et de vert» (p. 194). Pourtant la description de Reichenbach (1830) ne semble pas autoriser l'emploi de l'épithète *paganum* pour décrire les plantes

géantes observées par Marie-Victorin; Reichenbach ne parle que de «feuilles d'un vert brillant, ovées-rhomboidales, sinuées-dentées...» et Beaugé (1974) n'hésite pas à mettre *C. paganum* dans la synonymie de *C. album*. Pour des raisons encore obscures pour le moment, un certain nombre de botanistes nord-américains (Standley, 1916; Rydberg, 1922; Fernald, 1950; Herron, 1953) utilisent le nom de *C. paganum* Reichenb. pour désigner des chénopodes du groupe *album* à grosses graines (1,5 à 2 mm de diam.) que Rydberg et Herron, de plus, disent réticulées. Même si Marie-Victorin (1935) ne parle pas de grosses graines réticulées dans sa description de *C. paganum*, les spécimens qu'il a laissés sous ce nom en possèdent (Châteauguay, plante de 6 pieds de hauteur, n° 28090, QFA, et un spécimen de son collaborateur Rolland-Germain: Longueuil, Île Verte, 29133, SFS) et montrent que Marie-Victorin partageait pour cette plante les vues des botanistes cités précédemment.

En revanche, Gleason (1952) et Wahl (1954) identifient les plantes à grosses graines réticulées comme *C. Buschianum* Aellen (non pas *C. Boschianum* Moq.) et Wahl écrit à ce sujet: «*This species has been generally recognized by its larger flattened seeds and included in the manuals as C. paganum Reichenb.*» (p. 44). Comme *C. Boschianum*

TABLEAU I

Localisation et nombre chromosomique, lorsque connu, des récoltes de *C. strictum* au Québec d'après les herbiers suivants: QUE, QFA, SFS.

Lieu de récolte*	Comté	Auteur, No et date de récolte	Herbier	Nombre chromosomique (2n)
Saint-Jean-Chrysostome	Lévis	Gagnon et Boivin 9086, 9088. 1963.	QFA	—
Saint-Basile Station	Portneuf	Rousseau 63-1397. 1963.	QFA, SFS	—
Sherbrooke	Sherbrooke	Leclerc 150. 1970.	SFS	—
Sherbrooke	Sherbrooke	Brisson 76747. 1976.	QUE, QFA, SFS	—
Sherbrooke	Sherbrooke	Brisson 76865. 1976.	QUE, QFA SFS	—
Rougemont	Rouville	Cinq-Mars 63-1373. 1963.	QFA, SFS	—
Saint-Jean	Saint-Jean	Cinq-Mars 68-86. 1968.	QUE, QFA	—
Beauharnois	Beauharnois	Hébert 27. 1970.	QFA, SFS	36
Buckingham	Papineau	Charlebois 1070. 1968.	SFS	36
Châteauguay	Châteauguay	Gervais 77-160. 1977.	QUE	36
Île Saint-Bernard	Châteauguay	Gervais 78-316. 1978.	QUE	36
Montréal	—	Gervais 78-331. 1978.	QUE	36

* Les récoltes suivantes de *C. strictum* sont encore citées pour le Québec par Wahl (1954, p. 39): Gatineau Park, Groh 1629; Senn & Zinck 874. 1941. Vaudreuil, Co. Rigaud, E. Roy 3973. 1935. Il existe également une récolte de *C. strictum* de Bassett et Crompton, 4174, pour Huntingdon, 1961, (DAO) et probablement d'autres de DAO et de MT que nous n'avons pas en main.

est réputé posséder $2n = 36$ chromosomes (Keener, 1970), il sera facile de vérifier l'identité des « *C. paganum* » du Québec. De toute façon, quelle que soit la nomenclature adoptée pour la plante à grosses graines réticulées, il n'y a pas lieu de la confondre avec *C. strictum*, une espèce de taille plutôt modeste et à petites graines lisses, comme on le verra ci-dessous.

C. strictum, tel qu'on le trouve ici, est une espèce de 30 à 60 cm de hauteur (sauf cas exceptionnels), au feuillage plutôt glauque, à floraison très tardive, qui adopte le plus souvent le port en corbeille, c'est-à-dire que les branches issues de la tige principale (les plus basses surtout) se développent horizontalement puis s'incurvent vers le haut, donnant à la plante la forme d'une corbeille ayant en son centre la tige principale. Une fois pressée, la plante ressemble plutôt à un candélabre. Les tiges, anguleuses, sont vertes striées de rouge ou de jaune et l'aisselle des branches latérales est tachée de rouge foncé. Les inflorescences, spiciformes, étroites, ne semblent pas avoir toujours le temps de donner leurs graines. L'identification de *C. strictum*, à divers stades de son développement, étant grandement facilitée par l'examen des caractères des plantules, du feuillage adulte et des graines, ces trois points seront successivement abordés, ainsi que l'étude des chromosomes, ce qui permettra en même temps d'établir d'étroites comparaisons avec les espèces voisines *C. album* L., *C. ficifolium* Sm. et *C. glaucum* L. qui ont été étudiées selon cette méthodologie dans un travail précédent (Bouchard et al. 1978a).

CARACTÈRES DES PLANTULES

Les observations qui suivent, sur les cotylédons et les premières feuilles de *C. stric-*

tum, (fig. 1), peuvent permettre, bien que faites en serres, de relever de subtiles différences entre cette espèce et sa voisine *C. album* dont les plantules sont soigneusement illustrées dans Bouchard et al. (1978 a, b). Les cotylédons de *C. strictum* sont petits, étroits, à bords plutôt parallèles, peu charnus et sans nervure. Les deux premières feuilles, comme enveloppées dans une gaine de poils glanduleux lorsque très jeunes, prennent en se développant la forme d'une ellipse régulière environ deux fois plus longue que large. Dans d'autres cas (il semble exister un certain degré de variation), les deux premières feuilles sont ovales et ressemblent alors à celles de *C. album* bien que plus larges qu'elles. Chez la deuxième et la troisième paires (jeunes, les feuilles paraissent opposées), l'ellipse ou l'ovale se modifie, la base devenant largement cunéaire, la pointe plus obtuse et la marge finement denticulée ou sinueuse tout comme chez les feuilles adultes typiques auxquelles elles ressemblent déjà mais en plus large. Les cotylédons et les jeunes feuilles, d'autre part, sont rouges à la face inférieure et ces dernières, à l'encontre de celles de *C. album*, sont peu farineuses.

CARACTÈRES DES FEUILLES ADULTES

Les feuilles de *C. strictum* présentent, comme celles de *C. album*, certaines variations mais il reste possible de définir des formes typiques, assez facilement reconnaissables, permettant d'identifier l'espèce. La forme de feuille la plus caractéristique est l'ellipse légèrement étirée (de sorte que les côtés deviennent parallèles) avec une base cunéaire qui s'élargit en déterminant une petite pointe de chaque côté du limbe (fig. 2). La marge, en haut de ces deux pointes, peut être dentée, denticulée ou simplement

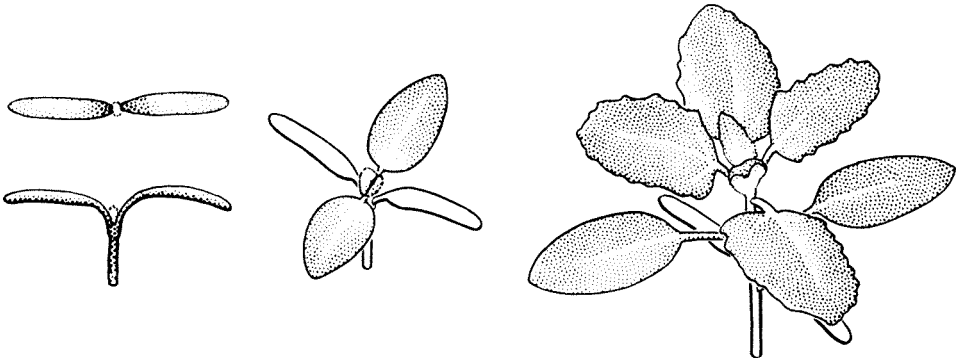


Figure 1. Cotylédons et premières feuilles de *C. strictum*.

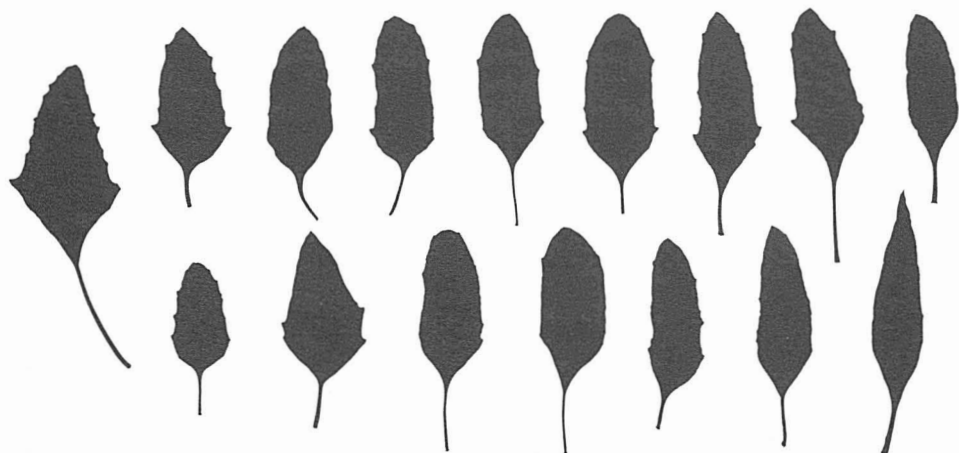


Figure 2. Silhouettes de feuilles typiques de *C. strictum*; la grande feuille de gauche provient de l'aisselle d'une branche secondaire de la tige centrale.

sinueuse et ondulée-crispée de sorte que les feuilles, en herbier, paraissent mal séchées! Sur d'autres spécimens, beaucoup de feuilles sont ovales-allongées, oblongues ou même lancéolées, surtout les supérieures, et possèdent des marges entières, très souvent bordées de rouge. Les limbes foliaires mesurent en général 2 à 3 cm de longueur par 1 à 1,5 cm de largeur, les plus grands et les plus dentés (fig. 2, à gauche) se rencontrant à l'aisselle des branches latérales.

CARACTÈRES DES GRAINES

Débarassées de leur mince péricarpe, les graines de *C. strictum* présentent une surface analogue à celle des graines de *C. album*, bien que les sillons qui rayonnent à partir du centre de la graine vers la périphérie soient encore moins marqués que chez cette espèce (fig. 3). D'emploi plus facile, de simples mesures du diamètre moyen des graines peuvent permettre, dans des cas douteux, de distinguer *C. strictum* de *C. album*. Tandis que Herron (1953) et Uotila (1977) s'accordent à indiquer des diamètres moyens de 1,1 mm pour *C. strictum* et de 1,3 mm pour *C. album*, l'examen d'échantillons de 50 graines (prélevées sur des individus de provenances différentes appartenant aux deux espèces) devait nous conduire aux résultats présentés au tableau II. Des tests statistiques appliqués aux valeurs rapportées dans ce tableau montrent qu'il existe des différences très significatives entre les diamètres moyens des graines des deux espèces et qu'il est légitime de se servir de ce caractère pour les identifier. D'autre part, des

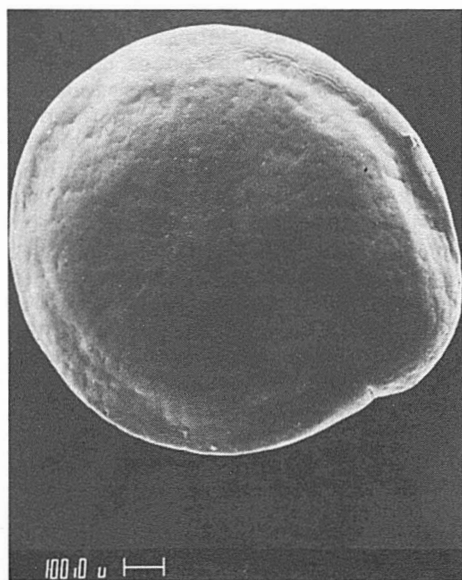


Figure 3. Graine de *C. strictum*, débarrassée de son péricarpe, laissant voir une testa à surface relativement lisse (microscopie électronique à balayage).

TABLEAU II

Diamètre (mm) des graines de *Chenopodium strictum* et *C. album* ($\bar{x} \pm \sigma$, N = 50)

	<i>C. strictum</i>	<i>C. album</i>
Grand diamètre	1,22 ± 0,04	1,38 ± 0,05
Petit diamètre	1,09 ± 0,04	1,30 ± 0,04
Diamètre moyen	1,15 ± 0,03	1,34 ± 0,04

différences très significatives étant aussi relevées, à l'intérieur de chaque espèce, entre le petit et le grand diamètre des graines, on peut se demander si ce caractère, indiquant une forme ovale, peut être utilisé dans les clés. C'est ce que font Bassett et Crompton (1978, p. 1062), en attribuant aux graines de *C. strictum* une forme ovale (1,0 mm par 1,3 mm en moyenne) et à celles de *C. album* un contour circulaire (1,2 mm par 1,3 mm en moyenne). Ces données ne correspondent pas tout à fait aux mesures rapportées ici et le caractère «forme» semble beaucoup plus délicat à utiliser que celui de «taille».

NOMBRES CHROMOSOMIQUES

Deux nombres chromosomiques, $2n = 18$ et $2n = 36$, ont été rapportés par quelques auteurs pour *C. strictum*. Homsher (1963), le premier, compte $2n = 36$ sur du matériel provenant vraisemblablement de Virginie. Plus tard, Mulligan (1969) indique le même nombre pour des plantes d'Ottawa, Keener (1970) l'observe en Californie et Uotila (1973) le retrouve encore sur des spécimens iraniens.

Le comptage divergent, $2n = 18$, de Bassett et Crompton (1971) est une simple erreur d'impression (voir Bassett et Crompton, 1978, p. 1062) et celui de Kawatani et Ohno (1956) semble provenir de l'utilisation de matériel de jardin botanique mal identifié. Le nombre chromosomique trouvé sur les plantes étudiées ici a toujours été $2n = 36$, comme on peut le constater sur le tableau I. Les chromosomes sont petits, métacentri-

ques ou sub-métacentriques et on en distingue un (fig. 4, flèche) ayant un satellite; Homsher (1963) écrit d'ailleurs que les chromosomes à satellites sont assez fréquents chez les chénopodes.

On peut se demander en conclusion, si *C. strictum* ($2n = 36$) ne serait pas l'une des espèces que l'on a confondues avec *C. album* ($2n = 54$), laissant croire à l'existence de races chromosomiques chez cette dernière. La chose paraît s'être produite dans le cas des comptages de Giusti (1964), où les silhouettes des feuilles des plantes tétraploïdes (fig. 1, p. 491) que cet auteur présente, correspondent à la forme des feuilles de *C. strictum*. On ne peut rien dire toutefois des autres comptages tétraploïdes ou diploïdes qui sont rapportés dans la littérature cytologique, les plantes témoins des comptages ne nous étant pas connus.

Il reste que *C. strictum* est peut-être effectivement un ancêtre tétraploïde de *C. album* mais qui aurait acquis un degré de différenciation tel, qu'aucune hybridation ne se produise entre les deux taxons. *C. album* et *C. strictum* se rangeraient alors parmi les «mésopolyploïdes», d'après la classification de Favarger (1961), les deux plantes appartenant à un genre où l'on retrouve des espèces diploïdes mais où l'ensemble diploïdes-polyloïdes ne constitue pas un réseau de «races chromosomiques» d'origine récente. Des essais d'hybridation nous renseigneraient probablement de façon certaine sur le degré de parenté de ces deux espèces, mais la régularité de la méiose de *C. strictum* (Uotila, 1973) et de *C. album* (Kjellmark, 1934; Cole, 1962; Uotila, 1972) indique plutôt à première vue qu'il s'agit d'espèces bien stabilisées.

Remerciements

Qu'il nous soit permis de remercier ici tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail: M. Bernard Drouin pour l'exécution des dessins des plantules, M. Jean-Pierre Ricbourg pour la photographie des graines en microscopie à balayage, Mme Louise Guay pour les mesures des graines et MM. D. Doyon et C.J. Bouchard pour d'intéressantes discussions au sujet des chénopodes et du traitement statistique de nos données.

Références

- BASSETT, I.J. and C.W. CROMPTON, 1971. In: Löve, A., IOPB Chromosome number reports XXXIV. — Taxon, 20: 785-797.

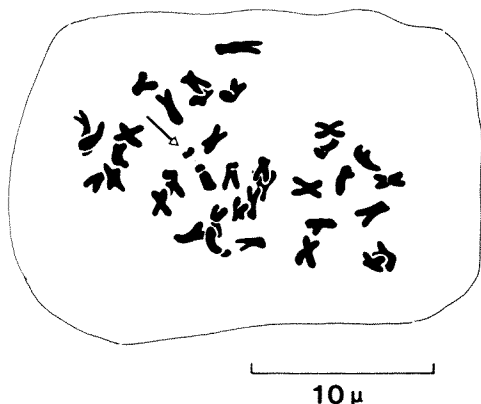


Figure 4. Métaphase, à $2n = 36$ chromosomes, d'une cellule du méristème racinaire de *C. strictum* (77-160). La flèche indique la présence d'un satellite.

- BASSETT, I.J. and C.W. CROMPTON, 1978. The biology of Canadian weeds. 32. *Chenopodium album* L. — Can. J. Plant Sci., 58: 1061-1072.
- BEAUGE, A., 1974. *Chenopodium album* et espèces affines. Étude historique et statistique. — Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, Paris, 447 p.
- BOIVIN, B., 1966. Énumération des plantes du Canada. III, Herbitae, 1^o partie: Digitatae: Dimeral, Liberae. — Naturaliste can., 93: 583-646.
- BOUCHARD, C.-J., D. DOYON et C. GERVAIS, 1978a. Étude comparative de trois chénopodes adventices dans les cultures de la région de Québec: *Chenopodium album* L., *C. ficifolium* Smith et *C. glaucum* L. — Naturaliste can., 105: 41-50.
- BOUCHARD, C.-J., D. DOYON et B. DROUIN, 1978b. Identification et illustration de quelques mauvaises herbes à l'état de plantule. — Phytoprotection, 59: 157-176.
- COLE, M.J., 1962. Interspecific relationships and intraspecific variation of *Chenopodium album* L. in Britain. II. The chromosome numbers of *C. album* L. and other species. — Watsonia, 5: 117-122.
- FAVARGER, C., 1961. Sur l'emploi des nombres chromosomiques en géographie botanique historique. — Ber. Geobot. Inst. Rübél, 32: 119-146.
- FERNALD, M.L., 1950. Gray's Manual of Botany, 8th Ed. — American Book Co., New York, 1632 p.
- GIUSTI, L., 1964. Notas cytotaxonomicas sobre *Chenopodium album* L. en Argentina. — Darwiniana, 13: 486-505.
- GLEASON, H.A., 1952. The new Britton and Brown illustrated Flora of the Northeastern United States and adjacent Canada. Vol. 2. — New York Botanical Garden, 655 p.
- HERRON, J.W., 1953. Study of seed production, seed identification, and seed germination of *Chenopodium* spp. — Cornell Univ. Agric. Expt. Sta. Memoir 320, New York, 24 p.
- HOMSHER, P.J., 1963. Genetic studies in *Chenopodium*. — Amer. J. Bot., 50: 621-622.
- KAWATANI, T. and T. OHNO, 1956. Chromosome numbers of genus *Chenopodium*, II. — Jap. J. Genet., 31: 15-17.
- KEENER, C.S., 1970. Documented plant chromosome numbers 70:1 — Sida, 3: 533-536.
- KJELLMARK, S., 1934. Einige neue Chromosomenzahlen in der Familie *Chenopodiaceae*. — Bot. Notiser, 1934: 136-140.
- MARIE-VICTORIN, Fr., 1935. Flore laurentienne. — Montréal, 917 p.
- MULLIGAN, G.A., 1969. In: Löve, A., IOPB Chromosome number reports XX. — Taxon, 18: 213-221.
- REICHENBACH, H.G.L., 1830. Flora germanica excursoria. — Lipsiae, 878 p. 1830-1832.
- ROTH, A.W., 1821. Novae plantarum species praesertim Indiae orientalis ex collectione Dr. Benjamin Heynii. — Halberstadii, 411 p.
- ROULEAU, E., 1964. In: Marie-Victorin, Fr., Flore laurentienne, 2^e éd. — Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 925 p.
- RYDBERG, P.A., 1922. Flora of the Rocky Mountains and adjacent plains, 2nd Ed. — New York, 1144 p.
- STANDLEY, C., 1916. North American Flora, Vol. 21 Part I *Chenopodiales*. — New York Botanical Garden, 93 p.
- UOTILA, P., 1972. Chromosome counts on the *Chenopodium album* aggregate in Finland and N E Sweden. — Ann. bot. Fennici, 9: 29-32.
- UOTILA, P., 1973. Chromosome counts on *Chenopodium* L. from S E Europe and S W Asia. — Ann. bot. Fennici, 10: 337-340.
- UOTILA, P., 1977. *Chenopodium strictum* subsp. *striatifforme* in the Baltic Sea area. — Ann. bot. Fennici, 14: 199-205.
- WAHL, H.A., 1954. A preliminary study of the genus *Chenopodium* in North America. — Bartonica, 27: 1-46.

COMMUNICATIONS BRÈVES

METAZOAN PARASITES OF RESIDENT ARCTIC CHAR (*SALVELINUS ALPINUS*) FROM A SMALL LAKE ON SOUTHERN BAFFIN ISLAND

MARK A. CURTIS

*Institute of Parasitology, McGill University,
Macdonald College, Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec, Canada, H9X 1C0.*

A total of eight metazoan parasite species have been collected and identified in the course of a study on the effects of *Diphyllbothrium* spp. plerocercoids on an arctic char (*Salvelinus alpinus*) population near Frobisher Bay. A species list is presented here and compared with similar surveys from other parts of the geographical range of *S. alpinus* in Canada.

The study locality was an unnamed lake, 1.5 km in length and with a maximum depth of 18 m. Located 12 km southeast of the Frobisher Bay townsite (63°42'N, 68°23'W), the lake is connected to the sea by a small stream which also joins it to two other lakes.

Most fish from the lake are small for their age, as is characteristic of char which do not migrate to the sea. No marine parasites were found in the specimens. Approximately 1 200 char were taken by gill net (mesh 1"-2½") during June to August 1977 and in August 1978, individuals ranging in size between 8 and 65 cm fork length. The ninespine stickleback, *Pungitius pungitius*, was the only other fish captured in the lake system.

The eight parasite species collected are listed on Table I. All have previously been reported in arctic char from other areas of Canada, but the particular combination of species found in these fish from southern

TABLE I

Metazoan parasites of arctic char from southern Baffin Island.

	<i>Species</i>	<i>Location</i>
Trematoda	<i>Crepidostomum farionis</i> (O. F. Mueller, 1784)	Adults in posterior intestine. Juveniles in gall bladder.
Cestoda	<i>Diphyllbothrium ditremum</i> (Creplin, 1825) <i>D. dendriticum</i> (Nitzsch, 1824) <i>Eubothrium salvelini</i> (Schrank, 1790) <i>Proteocephalus longicollis</i> (Zeder, 1800)	Plerocercoids in viscera, especially encysted on stomach. Plerocercoids in viscera. Adults in anterior intestine, caecae. Adults in anterior intestine.
Nematoda	<i>Philonema agubernaculum</i> (Simon & Simon, 1936)	Adults in viscera.
Acanthocephala	<i>Neoechinorhynchus rutili</i> (O. F. Mueller, 1780)	Adults in posterior intestine.
Copepoda	<i>Salmincola edwardsii</i> (Olsson, 1869)	Adults attached to lower jaw, oral cavity, gill opercula.

Baffin is distinct. Larger char in particular were characterized by heavy infections of *Diphyllbothrium ditremum* and *D. dendriticum*, with over 1 000 plerocercoids occurring in the viscera of some fish. A high incidence of *Diphyllbothrium* spp. has also been reported for Resolute (Beverley-Burton, 1978), and Igloolik (Jamieson, 1972).

Crepidostomum farionis was the only digenean trematode found. The bivalve *Pisidium* sp., which was sampled in the lake, is a known intermediate host for *C. farionis* (Hoffman, 1967). From present information on mollusc distributions (Clarke, 1973) no digenea can be expected to occur in the north of Baffin Island or elsewhere in the high arctic, and their absence at Resolute (Beverley-Burton, 1978) and Igloolik (Jamieson, 1972) would seem to confirm this. *C. farionis* is found in char from coastal Labrador (Hicks and Threlfall, 1973) and from the north slope of Canada and Alaska (Mudry and McCart, 1976).

Species of *Proteocephalus*, *Eubothrium*, *Philonema*, and *Salmincola* have been encountered in most parts of northern Canada where char parasite surveys have taken place (Andrews and Lear, 1956; Jamieson, 1972; Hicks and Threlfall, 1973; Mudry and McCart, 1976; Beverley-Burton, 1978). *Cystidicola cristivomeri*, a nematode abundant in the swim bladders of *S. alpinus* at Resolute and Igloolik, has not been found in fish from southern Baffin.

A species list identical to that presented here has been drawn up on the basis of a 1977 study on non-migratory char from Nettilling Lake, some 300 km northwest of Frobisher Bay (Dr. T. Dick, Univ. Manitoba, pers. comm.).

References

- ANDREWS, C. W. and E. LEAR, 1956. The biology of arctic char (*Salvelinus alpinus*) in northern Labrador. — J. Fish. Res. Bd Canada, 13: 843-860.
- BEVERLEY-BURTON, M., 1978. Metazoan parasites of arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) in a high arctic landlocked lake in Canada. — Can. J. Zool., 56: 365-368.
- CLARKE, A. H., 1973. The freshwater molluscs of the Canadian interior basin. — Malacologia, 13: 1-509.
- HICKS, F. J. and W. THRELFALL, 1973. Metazoan parasites of salmonids and coregonids from coastal Labrador. — J. Fish. Biol., 5: 399-415.
- HOFFMAN, G. L., 1967. Parasites of North American Freshwater Fishes. — Univ. California Press. Berkeley, 486 p.
- JAMIESON, J. L., 1972. Parasites of *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) in the northern Foxe Basin, Northwest Territories, with emphasis on those of medical importance. — M.Sc. Thesis. University of Toronto, Toronto, 190 p.
- MUDRY, D. R. and P. J. MCCART, 1976. Metazoan parasites of arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the north slope of Canada and Alaska. — J. Fish. Res. Bd Canada, 33: 271-275.

Acknowledgements

Funding for this research was provided by the Science Subvention Program of the Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service, and by the National Research Council (Grant No. AO567). Research at the Institute of Parasitology is supported by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada and the Formation des chercheurs et d'action concertée du Ministère de l'éducation du Québec. I would like to thank Dr. J. G. Hunter, Arctic Biological Station, Fisheries and Marine Service, for his help in co-ordinating logistic support for the project, and for commenting on this manuscript. The able assistance of Messrs. J. Doyle and P. Brassard in field work on Baffin Island has been much appreciated.

PREMIÈRES MENTIONS DU *MIMULUS MOSCHATUS* DOUGL. POUR L'EST DU QUÉBEC

Luc SIROIS

Université du Québec à Rimouski, Module de biologie, Rimouski, Québec.

Jusqu'à ce jour, *Mimulus moschatus* Dougl. n'était connu que d'une quinzaine de stations qui toutes, n'excédaient pas la Grosse Île (Montmagny) vers l'est exception faite d'une dernière station aux Îles de la Madeleine (Rousseau, 1974). Nous rapportons les additions suivantes :

Bic (Rimouski), abords de la rivière du Sud-Ouest, 48°20'21" lat. N., 68°46'00" long. W. : endroit ouvert et très humide, juillet 1976, *Luc Sirois* 220.

Cap Parent (Rimouski), abords d'un ruisseau, 48°25'34" lat. N. 68°35'48" long. W. ; 29 juillet 1977 ; *Luc Sirois* 970.

Ces mentions comblent la lacune pour l'est du Québec et l'on doit s'attendre à la découverte d'intermédiaires qui rejoindraient ces stations dispersées. Les spécimens sont à l'herbier personnel de l'auteur, 276 rue Belzile, Rimouski, Québec.

Je tiens à remercier l'Abbé Ernest Lepage qui a aimablement authentifié mes récoltes.

Référence

ROUSSEAU, Camille, 1974. Géographie floristique du Québec-Labrador. — Les Presses de l'Université Laval, Québec, XIV + 799 p.

RÉACTION À LA FERTILISATION, À L'ÉCLAIRCIE ET À LA COMBINAISON DES DEUX DANS UN PEUPEMENT DE SAPIN ÂGÉ DE 10-20 ANS

J. D. GAGNON

*Centre de recherches forestières des Laurentides,
Service canadien des forêts, Ministère de l'environnement
1080, route du Vallon, Sainte-Foy, Québec G1V 4C7*

et

H. S. D. SWAN

*Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers,
Division des bois et forêts, 2300 Édifice Sun Life, Montréal, Québec H3B 2X9*

Résumé

Dans un peuplement de sapin baumier âgé de 10-20 ans, une plus grande croissance en hauteur a été obtenue avec la fertilisation combinée à l'éclaircie qu'avec l'un ou l'autre traitement pris séparément.

Abstract

In a 10-20 year-old balsam fir stand, more height growth is obtained when fertilization is combined with thinning than by fertilization or thinning alone.

Cette étude a été effectuée en Gaspésie sur des schistes calcaires. Son but était d'évaluer l'effet de la fertilisation, de l'éclaircie et d'une combinaison de ces deux pratiques sylvicoles sur la croissance en hauteur d'un jeune peuplement de sapin baumier âgé de 10-20 ans et provenant d'une coupe totale. Cette communication présente la réponse de l'accroissement en hauteur, 5 et 8 ans après traitement.

Nous savons que, dans de tels peuplements, une accélération de la croissance peut être obtenue par l'éclaircie, comme le démontrent certaines études, entre autres celles de Vézina et Doucet (1969), Doucet (1973), ou encore par la fertilisation seule (Timmer et Fisher, 1978). Par contre, nous ignorons la réaction possible de ces jeunes peuplements à l'interaction éclaircie et fertilisation. À notre connaissance, il n'existe ni au Québec, ni au Canada, de publications traitant de l'effet de l'éclaircie combinée à la fertilisation sur la croissance de peuplements de sapin baumier âgés de 10 à 20 ans. C'est donc pour combler un vide que notre étude a été entreprise en 1965 avec la collaboration de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers et de la Compagnie Gaspésia Limitée, aujourd'hui Price Limitée.

Cette étude devait se terminer en 1975, soit 10 ans après traitements. Malheureusement, les dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) à la pousse terminale des arbres, en 1974 et 1975, étaient trop considérables pour nous permettre de mener cette étude à terme.

Le peuplement, constitué entièrement de sapins, essence commerciale la plus commune en Gaspésie d'après Webb (1958), est localisé à environ 30 km au nord de Chandler à une altitude de 150 m. La densité moyenne du peuplement avant traitements était de 34 000 tiges/ha. Une telle densité, environ 3 tiges/m², que l'on retrouve fréquemment en Gaspésie dans les jeunes peuplements de sapin de 10-20 ans provenant soit de la coupe totale soit d'un chablis, provoque une grande compétition des arbres entre eux au point d'abaisser considérablement le taux de croissance durant les deux décennies suivantes, période où un dégagement progressif naturel s'effectue.

Durant l'été 1965, sur une superficie totale de 2 ha, six parcelles de 0,02 ha inscrites chacune à l'intérieur d'un cercle de 0,04 ha ont été choisies au hasard et délimitées. À l'intérieur des parcelles de 0,02 ha, tous les arbres d'avenir, ayant une hauteur de 3 m ±

0,5 m, ont été étiquetés dans une même direction pour faciliter les mesurages futurs. De ce total de six parcelles, une a été gardée comme témoin, une autre fertilisée avec aussi peu que 170 kg/ha de NPK (10-10-10); tandis que dans les quatre autres parcelles, tous les arbres dans un rayon de deux mètres du tronc de l'arbre d'avenir ont été coupés. Deux de ces quatre parcelles éclaircies ont été gardées comme témoins éclaircis et les deux autres comme témoins fertilisés avec également 170 kg/ha de NPK (10-10-10). Ainsi, 29 arbres ont été étudiés dans la parcelle témoin, 23 dans la parcelle fertilisée, 65 dans les deux parcelles éclaircies et 74 arbres dans les deux parcelles où l'éclaircie s'est accompagnée de la fertilisation.

L'action des différents traitements sur la croissance en hauteur des arbres d'avenir de ce jeune peuplement est montrée à la figure 1. L'efficacité des différents traitements est évidente. En 1970, soit cinq ans après les traitements, la hauteur moyenne des arbres des parcelles éclaircies avait augmenté de 45%, celle de la parcelle fertilisée de 50% et celle des deux parcelles éclaircies et fertilisées de 53% tandis que la hauteur des arbres de la parcelle témoin n'avait augmenté que de 27%. En 1973, après huit ans, l'augmentation de la hauteur, par rapport à la hauteur moyenne initiale,

s'établissait pour ces mêmes arbres à 89%, 97% et 105% contre 51% pour les témoins. Si on évalue l'accroissement périodique moyen pour la période 1965-70 et celle de 1970-73, on trouve que le taux d'accroissement en hauteur est plus grand pour la période 1970-73 que pour celle de 1965-70, ceci surtout pour les arbres traités. C'est une indication que, sans l'intervention de la tordeuse après 1973, les arbres d'avenir ayant été traités, surtout à l'aide de la fertilisation combinée à l'éclaircie, auraient continué à augmenter leur taux de croissance en hauteur pour élargir en 1975 l'écart déjà apparent en 1973 entre leur hauteur moyenne et celle des témoins.

L'impact socio-économique de cette étude repose non seulement sur l'intérêt sylvicole des résultats obtenus mais aussi sur le développement de la technologie des opérations d'éclaircie et de fertilisation. Pour atteindre cet objectif, il serait souhaitable que, là où l'impact de la tordeuse se ralentit, de telles expériences se multiplient au Québec parmi nos nombreux peuplements de sapins de différents âges et situés à proximité des usines de transformation. Il est également souhaitable que les résultats des coûts et du rendement soient rapidement publiés puis inscrits dans une banque de données qui pourrait être créée par le Ministère des Terres et Forêts du Québec.

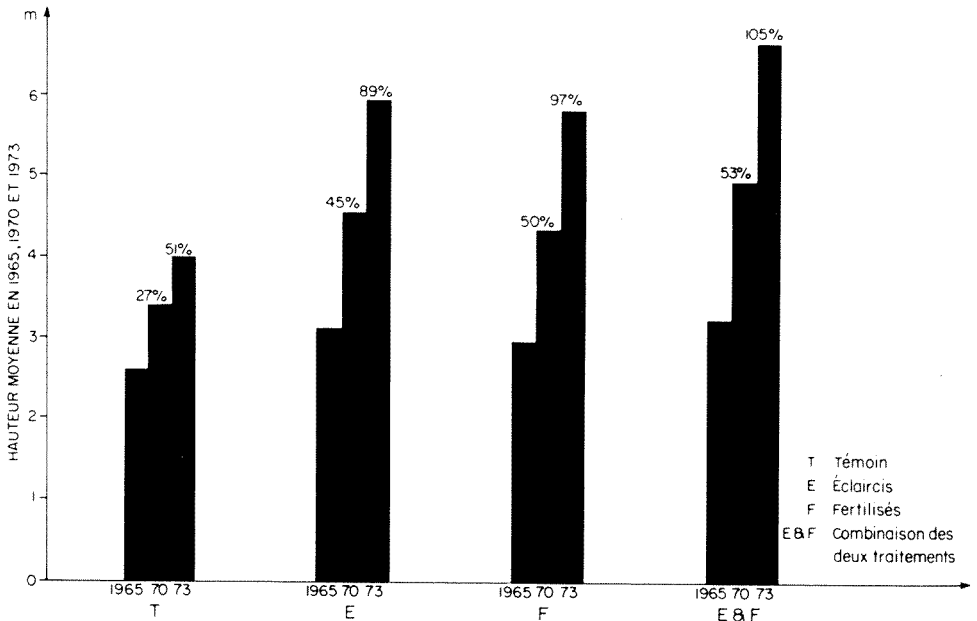


Figure 1. Pourcentage d'accroissement en hauteur en 1970 et 1973 par rapport à la hauteur initiale en 1965 des peuplements témoins, éclaircis, fertilisés et éclaircis avec fertilisation.

Références

- DOUCET, R., 1973. Comparaison de deux méthodes d'éclaircie précommerciale applicables aux jeunes sapinières. — Mem. No. 16, Serv. Rech., Dir. Gén. For., Min. Terres For., Québec. 28 p.
- TIMMER, V. R., et R. A. FISHER, 1978. Réaction d'accroissement à la fertilisation aérienne des forêts. — Rev. bim. rech., Env. Canada 34(6): 38-39.
- VÉZINA, Paul-E. et R. DOUCET, 1969. L'effet d'une éclaircie sur la croissance quinquennale d'un peuplement de sapin baumier âgé de 15 ans. — Nat. can. 96(2): 225-242.
- WEBB, L. S., 1958. Le sapin baumier est la plus commune de toutes les espèces commerciales qui poussent en Gaspésie, et après coupe, sa rotation est la plus courte (60 à 80 ans), selon les endroits. — Pulp Pap. Mag. Can. 58(10): 206-214.

NOTICE NÉCROLOGIQUE



Alexandre MARCOTTE

15 février 1914 — 17 mars 1979

Directeur de la Station de biologie marine
de Grande-Rivière de 1951 à 1972

Le 17 mars 1979, à l'Hôpital Saint-François d'Assise de Québec, le docteur Alexandre Marcotte décédait subitement à l'âge de 65 ans.

Né le 15 février 1914 à Saint-Basile de Portneuf, il était le fils d'Ulric Marcotte, contracteur, et de Laura Frenette. Après

avoir terminé ses études primaires à l'école Saint-Roch de Québec en 1929, il obtint un diplôme de Bachelier ès Arts du Séminaire de Québec en 1937.

De mai 1938 à septembre 1940, il obtint un emploi à titre de secrétaire au laboratoire de l'Office de recherche sur les pêches

du Canada à Grande-Rivière. C'est à ce moment que se précisa sa carrière scientifique. Le docteur Jean-Louis Tremblay, directeur de la station biologique du Saint-Laurent de l'Université Laval, l'invita à se joindre à l'équipe des professeurs de l'Université pour y poursuivre des travaux de recherche en biologie marine durant les mois d'été à Grande-Rivière. À son retour à Québec, en septembre 1940, il entreprit des études spécialisées en biologie et obtint son diplôme de bachelier ès sciences naturelles en 1944. Par la suite il poursuivit des études graduées sur la biologie de l'Eperlan sous la direction du docteur Jean-Louis Tremblay et il obtint son doctorat ès sciences en 1947.

De septembre 1947 à mai 1948, l'Université Laval le chargea d'un cours de biologie qui fut suivi de stages de perfectionnement dans les principaux laboratoires de biologie marine d'Europe, soit à Plymouth, à Naples, à Monaco et à Roscoff. Par la suite, de janvier 1949 à avril 1951, il fut attaché à la station biologique du Saint-Laurent en qualité de biologiste-chercheur et d'assistant-directeur. Au cours de l'année 1950, il suivit des cours d'ichthyologie systématique à l'Université de New York et de phycologie à l'Université de Pennsylvanie.

En 1951, l'Université Laval cédait ses laboratoires de recherches de Grande-Rivière au Ministère de la chasse et des pêcheries lequel par la suite réorganisa l'établissement sous le nom de «Station de biologie marine de Grande-Rivière», et en confia la direction au docteur Marcotte.

La période qui suivit peut être considérée comme une étape de consolidation et d'organisation physique et matérielle de la station de recherches. On réussit également à planifier l'organisation fonctionnelle des laboratoires régionaux de La Tabatière sur la Basse-Côte-Nord et celui de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine. C'est à ce moment que le Dr Marcotte dut faire preuve d'un esprit d'adaptation, d'invention et de grande diplomatie pour réussir, avec les moyens du bord, à maintenir des program-

mes de recherche en biologie marine. Les premiers travaux de cette époque consistèrent en des essais de chalutage par les pêcheurs gaspésiens. Une autre réalisation notable fut le choix et l'engagement de scientifiques qui formèrent une équipe en mesure de poursuivre des programmes de recherche bien planifiés.

La période la plus prolifique de la Station de biologie marine de Grande-Rivière fut sans contredit la décennie 1959-1969 alors que plusieurs travaux pratiques et de nombreuses études fondamentales furent réalisées autant par le personnel régulier que par des spécialistes invités ou des stagiaires.

Parmi les plus importantes réalisations, mentionnons l'utilisation de filets maillants, la pêche du sébaste dans le golfe, la pêche de la crevette sur le banc de Sept-Îles, les premiers essais de conchyliculture aux Îles-de-la-Madeleine et les explorations pour le crabe des neiges qui ont permis l'établissement d'une usine de transformation de cette espèce à Grande-Rivière. Tous ces travaux ont été consignés dans plus d'une cinquantaine de cahiers d'information publiés sous la directive et l'inspiration du Dr Marcotte.

En 1969, le Ministère de l'industrie et du commerce réorganisa la recherche en pêcheries en créant la Direction générale de la recherche. L'une des premières conséquences de cette décision fut celle de déplacer le personnel scientifique à Québec. Ce déplacement ne fut pas sans causer une profonde amertume au Dr Marcotte. Il garda cependant la direction du Service de biologie jusqu'au moment de sa retraite, le 5 septembre 1972, après 33 années de service compétent et dévoué à la biologie marine et à la biologie des pêches.

Julien BERGERON
Paul DUSSAULT

Ministère de l'industrie et du commerce
Direction générale des pêches maritimes
Québec, G1P 3W8

REVUE DES LIVRES

RADFORTH, N. W. and C. O. BRAWNER (eds.), 1977. **Muskeg and the northern environment**. Univ. Toronto Press, Toronto. VIII + 399 p., illustr. 18 × 25 cm. Clothbound, \$35.00.

Muskeg, an Algonquin Indian word for swampy and boggy land with few or no trees, is commonly used in Canada to indicate any kind of northern peatland. Muskegs are extensive in Canada, and cover probably well over 500 000 square miles. It is, therefore, not surprising that the National Research Council of Canada has for many years encouraged research on all aspects of peatlands, and since 1955, through one of its sub-committees, has also organized the Annual Muskeg Conference. This book contains the proceedings of the 15th Muskeg Conference held in Edmonton, Alberta, in 1973. The 14 papers by 24 contributors deal with muskegs from both an ecological and technological point of view. They are divided into 3 sections: description of muskeg (6 papers), utilization of muskeg (3 papers), and environmental considerations (5 papers). It also included a list of terms and definitions and a subject index.

The section on description of muskeg covers a wide variety of topics. J. Terasmae discusses the postglacial history of muskeg, and tries to correlate this with the palaeoclimatological reconstructions of Bryson and Wendland. This approach is somewhat hampered, as he points out, by our inadequate knowledge of the relationship between climate and peatland type. He further reports that muskeg occupied the landscape soon after glaciation, and that the oldest peat deposits can be used satisfactorily to estimate the minimum age of deglaciation. The paper on classification of muskeg by W. Stanek is a compilation of poorly coordinated facts, and even fails to provide a clear picture of the major types or geographic differences. However, it does contain an extensive bibliography (304 titles). Korpijaakko and Woolnough give some hints on how to carry out a peatland inventory, and they also stress the need for a comprehensive survey. M. L. Walmsley reviews the physical and chemical properties of peat in great detail, including methods of determination and a chapter on the correlation between physical and chemical properties; it is the longest (47 p.) paper in this volume. I would have liked to see some correlations with peatland site types or peat depth. Limited information on the former can be found in a table in the appendix. Surprisingly for a review on this subject, there is no reference to the important Russian work of K. E. Ivanov and V. V. Romanov. According to N. W. Radforth, musked patterns express the hydrological status of the terrain and can be used as an interpre-

tative key to water resources. He tries to correlate Radforth's aiform patterns with hydrology. In the process, a new term "hydroform" is introduced. The value of this approach still needs to be shown. R. J. E. Brown discusses the surface features associated with permafrost in peatland and their recognition by remote sensing. He points out the importance of bog hydrology for the development of permafrost in the zone of discontinuous permafrost.

Papers by P. J. Rennie, J. M. Stewart and M. Ruell *et al.* cover the utilization of muskeg for forestry, agricultural, and industrial purposes, respectively. The first provides mainly statistics on forests and peatlands, and on the distribution of soil subgroups in the forest sections and regions, in both tabular and map form. Stewart briefly discusses the agricultural use of peatland. The chapter on industrial utilization emphasizes promising new and recently introduced uses of peat, e.g. its use for treatment of polluted waters and heavy metal removal (both concern the use of mined peat not peat in situ), activated carbon and construction materials.

The section on environmental considerations varies most in content and quality of the papers. The effect of transportation on muskeg is discussed and illustrated by J. R. Radforth and A. L. Burwash. Pipeline construction and its problems in muskegs is dealt with at length by R. D. Meeres. A brief section on environmental considerations points out that pipelines are less destructive than alternative methods of transport. The excellent paper by D. A. Goode *et al.* on water resources gives a lucid and well-documented account of the hydrological regimes of peatlands. Using data from bogs in oceanic, suboceanic and continental regions, they dispel the myth that peatlands are extremely effective regulators of water flow. They also use an original approach to evaluate water quality parameters associated with conditions in peatlands. In contrast, the paper by A. E. Fee *et al.* does not belong in this volume. One would expect from the title that the interesting problems of waste disposal on organic soils are reviewed, but instead it deals with the disposal of household waste in the Arctic without any reference to muskeg. R. D. Muir discusses muskeg with respect to wildlife, conservation and recreation. The appended list of muskeg-related species could have better been omitted, for the lists are sloppy and inaccurate. This applies especially to the plant list which recognizes peculiar categories such as plants, orchids, shrubs, arboreal lichens and sedges. Most plants are listed by generic name only, sometimes in the wrong group. To give just one example, *Nymphaea* (water lily) is found under arboreal lichens.

A list of terms and definitions, prepared by W. Stanek, is added as an appendix. By and large the definitions are good and the choice of terms is reasonable. Of course, the list is not complete, and not everyone will find the word he is looking for. I, for one, wondered why "flark" and "rimpi" were included but not "kermi" and "schlenk", and why "brown moss" peat is defined but not "white moss". There are also some errors: plateau bog is confused with peat plateau, the long axis of flarks is not perpendicular to the contours but parallel to it. However, all this is minor. This is a useful list and many people struggling with obscure words in the bog literature will be grateful to Stanek for this time-consuming compilation.

The format of the book is attractive, the illustrations are clear and neatly drawn, and overall the text has been carefully edited. The format of these proceedings is a major improvement over the mimeographed or off-set printed reports of the earlier conferences. This changed format raises expectations which, unfortunately, are not completely satisfied by the contents. Nevertheless, the volume contains some excellent papers, and as a whole it compared favorably with the earlier proceedings.

Antoni W. H. DAMMAN

*Ecology Section
University of Connecticut
Storrs, Ct. 06268*

DUCHAUFOUR, P., 1977. **Pédologie. I. Pédogénèse et classification.** Masson, Paris. XVI + 477 p., 92 fig., 16 pl. phot. 17 × 24,5 cm. Cartonné toile, 160 FF.

Tout manuel riche et dense, même s'il fut bien reçu de ses utilisateurs dans ses premières éditions, ne s'apprécie qu'à l'usage; or, face à cette somme qu'est le livre de P. Duchaufour, le compte rendu que nous en avons tiré, si l'on avait voulu qu'il fût le plus pertinent possible, n'aurait pu être livré qu'après un certain temps de fréquentation, ce qui n'est pas ici le cas. C'est pourquoi le présent texte, et la plupart des comptes rendus d'autres ouvrages, tient de l'aperçu du livre recensé. En fin de compte, le propre d'un compte rendu n'est-il pas de signaler les plus récentes parutions, avec tout ce qu'implique cette exigence; cette période passée, très peu de critiques font connaître par la suite leur appréciation.

Le tome I d'un ouvrage de pédologie placé sous la direction de P. Duchaufour et B. Souchier, fut écrit par le premier de ces deux scientifiques dans une conception théorique du sujet. L'auteur a tenu à souligner qu'il s'est éloigné de la formule du précis des premières éditions (1960, 1965 et 1970), l'abondance des données ne permettant plus de condenser la matière; la forme ne correspondrait «plus à la conjoncture scientifique actuelle». Or, la forme dans laquelle un sujet est rendu n'a rien à voir avec l'état des connaissances que nous en avons; ces dernières deviennent de plus en plus abondantes il est vrai, mais elles demeurent toujours relatives.

Le tome II sera confié à plus d'un collaborateur, spécialistes dans leur domaine qui feront voir les constituants et les propriétés du sol tant physiques, chimiques que biologiques, dans une conception cette fois dite pratique; son aspect le fera particulièrement apprécier des agronomes et des sylviculteurs. Malgré l'appartenance des deux volumes à un même sujet, chacun d'eux conservera une autonomie certaine. Seul le premier volume, par sa vision écologique et synthétique de cette zone superficielle de la lithosphère située au contact des enveloppes fluides et vivantes de la Terre, ne pouvait être confiée, à juste titre, qu'à un auteur afin qu'il en conserve l'unité.

L'aspect dynamique du premier tome se dégage rapidement, ne serait-ce qu'à l'étude de la table des matières qui est non pas une juxtaposition de données, mais une véritable structure d'une conception où sont d'abord considérés les processus physico-chimiques de la pédogénèse — il est toujours écrit pédogénèse dans le livre — avant que l'auteur n'utilise celle-ci comme base d'une classification des sols (p. 169-469), établie sur les caractères du profil. Puisque les horizons fondamentaux sont le résultat d'une dynamique interne, mais commandée la plupart du temps par le climat et son intermédiaire la végétation, c'est donc une véritable écologie du milieu qui est ainsi mise en valeur. La pédogénèse ne résulte-t-elle pas d'une incorporation au sol de matière organique, aussi d'une altération des minéraux primitifs et d'un déplacement de matière. Tandis que la biochimie des sols, sous la décomposition de cet humus qui n'est qu'un constituant du milieu, permet le mélange intime à la matière minérale pour former des complexes organo-minéraux essentiels à la pédogénèse. Bien entendu le temps exerce un rôle fondamental dans cette évolution, certains sols à cycle court se formant en quelques centaines ou milliers d'années, d'autres à cycle long en plusieurs dizaines de milliers d'années. L'auteur sait dégager de tous ces processus une synthèse cohérente.

L'ouvrage est donc divisé en deux parties faisant voir l'une les mécanismes bio-physico-chimiques de la pédogénèse, l'autre la génétique en tant que base de la classification des sols. Car de l'évolution de la fraction minérale dont l'altération des argiles, et de la dynamique de l'humus, l'auteur fait voir ensuite les mouvements de toute cette matière qui amènent des transformations s'exprimant différemment sous les facteurs bio-climatiques généraux: ainsi apparaissent les zonations qui, sous l'influence d'autres facteurs géographiques, conditionnent en dernier essor la différenciation des sols à l'échelle continentale.

Ces bases permettent donc d'établir une classification dite écologique où l'auteur met en valeur des familles naturelles de sols qui montrent comment ces derniers s'enchaînent en des séquences évolutives continues, toujours sous la dépendance des changements de différents facteurs du milieu. La systématique est abordée avant de déboucher sur la classification proposée, mais à la lumière

des classifications existantes. L'auteur dégage ainsi les types de sols peu évolués, calcimagnésiques, humiques, brunifiés, podzolisés, hydromorphes, riches en sesquioxides et finalement salsodiques. Pourquoi ne pas simplifier la terminologie pédonymique en utilisant les mots, comme exemples, podzols ou brunisols au niveau des classes, au lieu des expressions sols podzolisés et brunifiés; l'auteur n'utilise-t-il pas déjà les termes vertisols et andosols. Il y a ici une véritable révolution à entreprendre; les Américains y sont arrivés grâce à un système d'une cohérence rigoureuse, sauf que leur choix des radicaux, des suffixes et des préfixes est loin d'être toujours heureux.

Une véritable pensée pédologique d'auteur se dégage constamment du livre, exprimée de plus par un pédagogue averti. Elle s'établit sur des connaissances personnelles longuement mûries, sur la fréquentation des travaux d'une école dont il est l'un des représentants dynamiques, sur des lectures de publications étrangères dont témoignent son texte et ses références données en fin de chapitre. Il est désagréable toutefois que les titres des articles ne soient pas fournis dans la bibliographie, mais seuls les noms des auteurs bien entendu, des périodiques et de leurs coordonnées. Des paragraphes à petits caractères disent les données particulières sur lesquelles peut glisser le lecteur. Bref, il s'agit d'un manuel de belle rigueur scientifique rédigé dans le respect des travaux d'autrui; il y a dans le procédé une éthique professionnelle dont s'éloignent, par manque d'envergure, de plus en plus de chercheurs.

L'ouvrage est bien présenté à tous les points de vue, sauf que la toile pâle et rugueuse de la couverture prend la saleté rapidement. L'éditeur fait ensuite sa publicité tapageuse, qui n'est pas à sa place à cet endroit, par l'annonce de titres d'ouvrages déjà publiés. À l'avant-propos succède une table des matières élaborée, placée heureusement en début d'ouvrage contrairement à la plupart des ouvrages français; elle est suivie d'un *contents* où seuls sont traduits les titres des chapitres pour en arriver aux résultats suivants: *Soil systematics* ou *Podzolic soils* entre autres... C'est verser dans une anglomanie autant inutile que détestable, comme c'est faire affront aux anglophones. Les figures au trait sont nettes; le type de légende de certaines d'entre elles ne se déchiffrent qu'après d'inutiles détours: il faut passer du symbole de la figure à une colonne où les mêmes trames sont représentées, en regard desquelles un numéro correspond au même numéro d'une légende donnée ailleurs, souvent à la page voisine; ces numéros s'accompagnent en fin de compte de la description de la signification du symbole. On aurait pu se passer complètement de l'illustration photographique offerte au centre de l'ouvrage: les 42 images noir et blanc, très petites, ne traduisent en rien la réalité et ne sont d'aucune aide; le prix de vente du livre justifiait la couleur.

La *Pédologie* de P. Duchaufour est le lieu, sous un traitement de maître, où se loge une matière

à la fois rébarbative et séduisante. C'est un ouvrage dont ne saurait se priver le chercheur sérieux dans le domaine non seulement de la science pédologique en particulier, mais dans toute recherche écologique: enseignant et étudiant, pédologue de terrain ou de laboratoire, géomorphologue et géographe, géologue et quaternariste, archéologue et botaniste, bref toute personne que cette portion superficielle de l'écorce terrestre ne saurait laisser indifférent: le sol n'est-il pas source de nourriture et support à tant d'activités ou de présences.

Camille LAVERDIÈRE

Département de géographie
Université de Montréal, Montréal

LORD, G., TREPANIER, M.-O. et P. TRUDEL, 1978. **La protection des boisés et des espaces naturels en milieu urbain.** Collection *Études juridiques*. Éditeur officiel, Québec. 240 p. 18 × 21,5 cm. Broché, \$8,50.

L'Éditeur officiel du Québec vient de publier une étude encouragée par la Communauté urbaine de Montréal et subventionnée par le Ministère d'État aux affaires urbaines. Ces trois niveaux de gouvernement ont collaboré pour faire une revue des outils légaux existants — et à inventer — pour la protection des boisés et des espaces naturels en milieu urbain, cependant que les administrateurs ou les hommes politiques de ces mêmes niveaux marquent le pas quant à l'urgence d'intervenir dans ce domaine. La préparation et la diffusion d'ouvrages comme celui-ci est probablement, du point de vue politique, une approche très justifiée, puisqu'il n'existe pas encore une forte volonté populaire d'épauler les politiciens soucieux de la qualité de l'environnement en milieu urbain. Le manque de volonté politique est d'ailleurs souligné plusieurs fois dans cet excellent ouvrage rédigé par Guy Lord, Marie-Odile Trépanier et Pierre Trudel.

Quoique cette étude ait été préparée pour la Communauté urbaine de Montréal, elle peut servir à la protection des espaces naturels dans tous les milieux urbains du Québec. L'étude comprend trois parties.

La première partie, qui recense et analyse la législation et la réglementation pouvant avoir une incidence sur la protection des boisés urbains, traite d'un grand nombre de lois, telles que la Loi de cités et villes, la Loi sur l'évaluation foncière et la Loi sur les parcs nationaux. Les auteurs concluent en soulignant le caractère épars de la législation étudiée, ainsi que la désuétude et l'inadéquation d'un certain nombre de mesures juridiques. D'un autre côté, ils constatent l'apparition de lois qui, sans avoir pour objectif la protection des boisés urbains, pourraient contribuer de façon incidente à leur assurer une certaine protection; mentionnons, entre autres, la Loi sur les biens culturels. Il n'existe donc pas au Québec de lois ayant comme objectif immédiat d'assurer la pro-

tection des boisés et des espaces verts en milieu urbain.

La deuxième partie, qui porte sur l'expérience des autres provinces canadiennes ainsi que sur les expériences les plus intéressantes de pays comme la France, la Grande Bretagne et les États-Unis, permet d'aller chercher ailleurs une partie de l'inspiration nécessaire pour palier à la carence présentée dans la première partie. Aussi, cette existence de lois pour la protection du milieu naturel dans les régions urbanisées devrait-elle encourager nos politiciens à se doter de moyens aussi efficaces. Cette section a servi à l'élaboration de plusieurs des suggestions présentées dans la troisième partie.

La troisième partie, qui dégage un certain nombre de propositions ou d'alternatives en vue d'assurer la sauvegarde et la protection des boisés urbains, est probablement la plus intéressante pour l'écologiste intéressé par l'environnement en milieu urbain. Les auteurs, dès le début de cette section, attirent notre attention sur le fait que « ce n'est pas le droit qui dicte les politiques, ce sont les politiques qui orientent le droit... » Un peu plus loin, ils enchaînent en écrivant que « cette étude présuppose de façon quelque peu artificielle l'existence d'une volonté politique de protection des boisés. En réalité nous sommes conscients que la poursuite de tels objectifs n'est pas encore acceptée. » Ils ont regroupé les mesures sous trois hypothèses différentes : une hypothèse de changement législatif minimal, une hypothèse de réforme et une hypothèse de transformation substantielle du régime juridique.

Dans l'hypothèse du changement législatif minimal, les auteurs suggèrent des mesures telles que d'accorder, dans la Loi des cités et villes, le pouvoir d'interdire ou de contrôler la coupe des arbres qui n'appartiennent pas à ces dernières. Des servitudes contractuelles permettant aux citoyens l'accès aux boisés tout en dédommageant les propriétaires pourraient être négociées. D'autres mesures, comme l'application en milieu urbain de la Loi sur les parcs nationaux ou la Loi sur les parcs sont aussi discutées. Certaines d'entre elles, en autant qu'il y aurait une volonté politique de les appliquer, pourraient être fort utiles pour la protection des boisés en milieu urbain.

Dans l'hypothèse de réforme, les mesures suggérées semblent avoir plus de chance de succès. Le classement des boisés, à l'instar du classement des biens culturels, pourrait se faire sans expropriation pourvu que certains usages, comme la coupe sélective, la récréation, etc., soient permis, alors que d'autres, comme l'abattage et la construction, y seraient interdits. Plusieurs autres mesures reliées à la planification du territoire sont aussi traitées; mentionnons l'introduction du concept « de zones d'aménagement différé ». Selon les auteurs, il s'agirait de geler le développement d'une portion de territoire en attendant que soient réunies les conditions qui permettent une utilisation conforme aux objectifs poursuivis par la collectivité, ces objectifs étant générale-

ment exprimés dans un plan d'urbanisme ou d'aménagement. Cette mesure provisoire pourrait donc être utile pour la protection des boisés. Un programme d'aide au financement des acquisitions de terrains, inséré dans les lois actuelles — tant fédérale que provinciale — sur l'habitation, aurait évidemment un impact certain sur la préservation de ces sites. Plusieurs des mesures, appartenant à l'hypothèse de réforme, me semblent être des plus efficaces pour la protection de notre patrimoine naturel.

Dans l'hypothèse de transformation substantielle du régime juridique, les auteurs proposent des mesures, présupposant une volonté politique ferme secondée par une préoccupation réelle de la majorité de la population. Celles-ci vont de la reconnaissance de droits fondamentaux aux éléments naturels de l'environnement, qui pourraient être défendus par des tuteurs, à la nationalisation des boisés. Des idées assez intéressantes sont examinées dans ce chapitre, surtout en ce qui concerne le « development control ». Cette dernière approche est caractérisée par le fait que les décisions sont prises en étroite liaison avec une démarche de planification tout en tenant compte des particularités de chaque cas.

Cet ouvrage, de la collection *Études juridiques* de l'Éditeur officiel du Québec, constitue un outil intéressant et très bien fait pour l'écologiste qui veut, en plus d'inventorier et comprendre les boisés urbains, en assurer la sauvegarde. La protection récente du plus beau boisé urbain de Montréal, Saraguay, illustre très bien l'importance primordiale d'une volonté politique ferme, soutenue par la population. Une fois la décision politique prise, l'administrateur public saura trouver ou inventer les outils légaux nécessaires à la préservation des boisés et des espaces naturels en milieu urbain.

André BOUCHARD

*Jardin botanique
Montréal, Québec*

HELLER, R., 1978. **Abrégé de physiologie végétale**. Tome 2 : **Développement**. Masson, Paris. 224 p., 133 fig. 13,5 × 21 cm. Broché pelliculé, prix non indiqué. Distributeur au Québec : Somabec, 2475 Sylva Clapin, St-Hyacinthe.

Ce livre est le deuxième tome de l'*Abrégé de physiologie végétale* du professeur R. Heller de l'Université de Paris. Le tome 1, paru en 1977, traitait de la nutrition. Dans l'avant-propos, l'auteur fait remarquer que la présentation des principes fondamentaux de physiologie végétale sous forme d'abrégé procède du souci d'offrir aux lecteurs un ouvrage court et précis. Il faut féliciter l'auteur d'avoir réalisé son objectif. Les deux tomes totalisent moins de 500 pages et tous les principes fondamentaux sur le fonctionnement des plantes vasculaires sont exposés avec clarté et beaucoup de précision. La matière y est bien structurée et les nombreuses illustrations en facilitent la compréhension.

Voici un résumé de la matière du tome 2. Le chapitre 1 rappelle les données de base sur le développement des plantes vasculaires. Les quatre chapitres suivants traitent des divers aspects de la croissance tels que cinétique et modèles théoriques (2), contrôle de la morphogénèse (3), tropismes (4), mouvements des végétaux (5). Cinq chapitres sont consacrés aux principales catégories de phytohormones: auxine (6,7,8), gibberellines (9), cytokinines, éthylène, acide abscissique (10). L'auteur insiste en particulier sur les propriétés et les mécanismes d'action de l'auxine. Les quatre derniers chapitres portent sur la physiologie de la germination et des dormances des graines et des bourgeons (11), sur les facteurs température et photopériodicité dans l'induction florale (12,13) et sur le phytochrome pigment photorécepteur responsable de la plupart des effets de la lumière sur la croissance et le développement des plantes (14).

À notre avis, cet abrégé, relativement peu coûteux, est hautement recommandable dans l'enseignement d'un cours d'introduction à la physiologie végétale. Certes, il a des lacunes dont la principale est l'absence de références (il n'y a pas de bibliographie), mais le professeur pourra facilement au cours de ses exposés combler cette lacune.

L'abrégé de physiologie végétale devrait ainsi connaître auprès de tous ceux qui s'intéressent à la vie des plantes et à la production végétale un très grand accueil.

H. P. THERRIEN

*Département de phytologie
Université Laval, Québec*

REESE, E. S., et F. J. LIGHTER, Éditeurs, 1978. **Contrasts in behavior.** John Wiley and Sons, New York. VII + 406 p. 15 × 22,5 cm. Cartonné, U.S. \$27,50.

Un rapide résumé de ce livre écrit par une douzaine d'auteurs nous en fera mieux comprendre l'intérêt mais aussi les limites. La première partie a pour titre le comportement reproductif et contient trois chapitres: 1. soins portés à la progéniture chez les poissons et les oiseaux (H. A. Keenleyside, 24 p.); 2. agrégation temporaire des mâles au moment de la reproduction chez les poissons et les oiseaux (P. V. Loiselle et G. W. Barlow, 44 p.); 3. évolution de l'hermaphrodisme et de la parthenogénèse chez les vertébrés terrestres, (R. R. Warner, 24 p.). La deuxième partie, intitulée comportement communicateur et régulateur, a trois chapitres: 4. postures latérales de dissuasion chez les poissons, les amphibiens et les reptiles (D. Chiszar, 30 p.); 5. communication acoustique chez les poissons principalement avec quelques rappels pour les amphibiens, les reptiles, les oiseaux, les mammifères et les arthropodes (A. A. Myrberg, E. Spangler et S. J. Ha, 42 p.); 6. recherches de tempé-

ratures stables chez les poissons Centrarchidés et chez les reptiles terrestres (J. J. Magnuson et T. L. Beitinger, 35 p.). La troisième partie traite du comportement alimentaire et comprend deux chapitres: 7. l'agrégation comme moyen de défense contre les prédateurs dans les milieux aquatiques et terrestres (E. S. Hobson, 13 p.); 8. comparaisons entre les comportements alimentaires des vertébrés marins et terrestres (poissons et mammifères) dans un milieu tropical (M. L. Harmelin-Vivien, 13 p.). Quatre chapitres constituent la quatrième partie portant sur le comportement social: 9. comportement social chez quelques carnivores marins (pinnipèdes) et terrestres (B. J. Le Boeuf, 28 p.); 10. comportement agressif chez les poissons et les vertébrés terrestres (R. J. Miller, 30 p.); 11. structures sociales chez les poissons des récifs de corail et chez les autres vertébrés (P. F. Sale, 33 p.); 12. comportement associé à l'utilisation de l'espace chez les animaux aquatiques: problèmes spéciaux et exemples choisis (E. S. Reese, 27 p.).

Ce livre présente un large éventail de sujets sur le comportement animal. Les sujets traités sont cependant arbitrairement choisis par les auteurs. D'autre part, ceux-ci sont tous des spécialistes du comportement des vertébrés aquatiques, principalement des poissons (sauf Le Boeuf, chap. 9, spécialiste des mammifères marins). C'est pourquoi, dans chaque chapitre, la partie qui concerne les vertébrés aquatiques est basée sur les recherches originales des auteurs alors que la partie comparative se base souvent sur des données générales de seconde main.

La comparaison entre le comportement des vertébrés aquatiques et celui des vertébrés terrestres permet cependant aux différents auteurs de donner un nouvel éclairage sur différents phénomènes. Malgré les grandes différences phylogénétiques et environnementales, ces deux grands groupes de vertébrés montrent des convergences assez nettes dans l'agrégation temporaire des mâles (ch. 2), dans les postures latérales de dissuasion (ch. 4), dans la communication acoustique (ch. 5) et dans la territorialité (ch. 12). D'autres phénomènes sont par contre propres à l'un ou l'autre groupe: le soin donné aux jeunes (ch. 1), l'hermaphrodisme (ch. 3).

Dans la plupart des chapitres, le nombre d'auteurs cités varie autour de la centaine (± 20). Il est de 150 et de 163 dans les chapitres 5 et 2 et inférieur à 50 dans les chapitres 7, 1 et 8.

En résumé, ce livre agréable à lire et bien présenté nous donne un bon aperçu de l'état actuel de nos connaissances sur le comportement des vertébrés aquatiques et principalement des poissons ainsi qu'une étude critique de la méthodologie utilisée dans l'étude de ces organismes. Rien dans le titre «*Contrasts in behavior*» ne laissait cependant soupçonner son originalité.

Étienne MAGNIN

*Département des sciences biologiques
Université de Montréal, Montréal*

SALISBURY, F. B. et C. W. ROSS, 1978. **Plant physiology**. Wadsworth Publ. Co., Belmont, California. 436 p., 306 fig., 15 tableaux. 23,5 × 25,5 cm. Relié, \$22,00.

La première édition de ce manuel traitant des principes fondamentaux de physiologie végétale date de 1969. Nous avons, à cette époque, signalé dans cette rubrique que l'ouvrage, « fruit de la vaste expérience des professeurs Salisbury et Ross atteignait l'excellence tant par le fond que par la forme ». En dix ans, le taux d'accroissement des connaissances en physiologie végétale a été phénoménal, et les auteurs ont, à toute fin pratique, écrit un nouveau volume. Ils ont retenu environ 10 à 20% de la matière ainsi que l'organisation générale de la première édition. Trente-deux scientifiques ont participé à la révision du texte.

Le livre actuel comprend 24 chapitres répartis en quatre sections. Les sept premiers chapitres (section 1) traitent des relations plante-eau (1 à 4), de la nutrition minérale (5 et 6) et du transport par le phloème (7). La section 2 (7 chapitres) porte sur la biochimie végétale: enzymologie, photosynthèse, respiration, métabolisme de l'azote et du soufre, synthèse des lipides et substances aromatiques. La section 3 (8 chapitres) étudie la croissance et le développement, la régulation phytohormonale, la photomorphogénèse, le photopériodisme, les réponses des plantes à la température, l'horloge biologique. Les problèmes d'écophysiologie et de la physiologie des stressés sont discutés dans la quatrième section. Enfin, la dernière section groupe dix topiques spéciaux traités en deux ou trois pages par divers scientifiques, et reliés à l'un ou l'autre chapitre du volume. Voici une liste des topiques: l'eau, une introduction aux lois de la thermodynamique, les colloïdes, l'eau du sol, la théorie chimiosmotique sur la synthèse de l'ATP, les herbicides, les mécanismes d'action de la lumière en photomorphogénèse, les rayons ultra-violet et les plantes, la phytopathologie physiologique.

Salisbury et Ross ont demandé à des amis professeurs et chercheurs renommés par leurs travaux en physiologie végétale d'écrire un bref essai relatant leur engagement personnel et leur philosophie de la vie. Les essais d'environ une page sont placés à la fin des chapitres appropriés. Une photo de chaque auteur y est jointe. L'initiative est excellente, car elle permet une rencontre presque personnelle avec des scientifiques éminents comme Calvin, Bassham, Bünning, Kramer, Slatyer, Went, pour n'en nommer que quelques uns.

La bibliographie pertinente à chaque chapitre est présentée à la fin du livre et elle contient au delà d'un millier de références. Les illustrations et figures sont nombreuses (plus de 300) et de qualité. Le texte, comme dans la première édition, est présenté sur deux colonnes par page. Il est bien

ajouré et l'utilisation des caractères gras pour les titres, sous-titres et mots importants dans un paragraphe ainsi que de la numérotation décimale en facilite la lecture.

Il faut féliciter les professeurs Salisbury et Ross de la présentation moderne et à jour des connaissances fondamentales sur le fonctionnement des plantes. Cette nouvelle édition connaîtra sans nul doute un succès aussi grand que la précédente auprès des professeurs et étudiants en physiologie végétale, d'autant plus qu'au point de vue prix, par rapport à plusieurs autres manuels, c'est une aubaine.

H. P. THERRIEN

*Département de phytologie
Université Laval, Québec*

ROSS, C. W., 1974. **Plant physiology laboratory manual**. Wadsworth Publ. Co., Belmont, California. VIII + 200 p., 60 fig., 23 × 24,5 cm. Carton souple, prix non indiqué.

Ce manuel de laboratoire a été rédigé par le professeur Ross, l'un des co-auteurs de *Plant physiology* par Salisbury et Ross. Le but proposé par l'auteur est de consolider la matière présentée dans les cours théoriques en permettant aux étudiants d'obtenir eux-mêmes des données expérimentales, de les discuter et d'en tirer des conclusions valables.

Le manuel contient 67 expériences dont six sur la colorimétrie, le pH et les tampons; 21 sur les relations plante-eau, la perméabilité cellulaire et la nutrition minérale; 17 sur la biochimie végétale et 23 sur la croissance et le développement. La présentation est similaire pour chaque expérience: matériel requis, introduction, méthodes, rapport exigé, questions et références.

En appendice, l'auteur s'adresse particulièrement aux chargés de travaux pratiques. Il fait de brefs commentaires sur chaque expérience: temps requis, équipement, endroits où l'on peut se procurer certains produits. Des compléments d'information sont donnés sur la colorimétrie, l'utilisation des radioisotopes, la préparation des tampons. Des schémas et figures illustrant le matériel ou l'équipement utilisé attirent l'attention et permettent, à l'occasion, de maîtriser rapidement une technique.

Ce manuel, en plus d'être pour les étudiants un outil excellent de formation scientifique, sera très utile aux professeurs et assistants des travaux pratiques en physiologie végétale.

H. P. THERRIEN

*Département de phytologie
Université Laval, Québec*

LIVRES REÇUS

- ALI, M. A., Éditeur, 1978. **Sensory ecology**. Review and perspectives. *NATO advanced study institutes series, Series A: Life sciences, vol. 18*. Plenum Press, New York et Londres. x + 597 p. 17,5 × 25,5 cm. Relié-toile, U.S. \$59,40.
- STUGREN, B., 1978. **Grundlagen der Allgemeinen Ökologie**. 3ième édition entièrement révisée. Gustav Fischer Verlag, Jena. 312 p., 151 fig., 8 tab. 17,5 × 24,5 cm. Relié-toile, DDR 25,00 M.
- WILSON, J. L., 1975. **Carbonate facies in geologic history**. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. 471 p. 24 × 16 cm. Relié, \$19,80.

DIRECTIVES AUX AUTEURS

ORIENTATION DE LA REVUE

On peut soumettre au *Naturaliste canadien* des *articles inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée, de la taxonomie, de la morphologie ou des sciences de la terre. Tout manuscrit sera jugé en fonction de l'originalité des résultats et de l'interprétation. Les revues thématiques ne seront acceptées que si elles donnent lieu à d'importantes généralisations scientifiques. Des *articles courts* (maximum de quatre pages dans la revue) peuvent être acceptés comme "Communications brèves" s'ils découlent d'une recherche de qualité.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à double interligne sur le recto de feuilles de 21.5 X 28 cm, seront expédiés en trois exemplaires au Secrétaire de la rédaction.

Les éléments du manuscrit sont les suivants : (1) le titre ; (2) le nom de l'auteur ; (3) le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur ; (4) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces (sur une page séparée) ; (5) les résumés français et anglais (maximum de 300 mots) ; (6) le texte ; (7) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains), les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes) et les références bibliographiques.

TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant : 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 infra-marginales devront être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement ; (3) pour les unités de mesure, on utilisera de préférence le système métrique, (4) on évitera les appendices, et d'ailleurs la Direction de la revue ne s'engage pas à en publier plus d'une page.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles seront indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles seront citées

par ordre alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant des exemples suivants :

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5) : 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In : D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Les titres des périodiques devront être abrégés suivant la "World List of Scientific Periodicals" (édition de 1963).

ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à deux clichés par manuscrit ; tous les clichés additionnels seront à la charge de l'auteur.

Les photographies devront être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupera, autant que possible, les photographies sur une même planche, en les collant sur un carton rigide, sans oublier de les numérotéer proprement et lisiblement au coin droit. Trois séries de photographies sont requises.

Les dessins doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage devra 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 x 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.

ÉPREUVES ET TIRAGES-À-PART

Les auteurs recevront une série d'épreuves, en même temps qu'un bon de commande pour les tirages-à-part. L'un et l'autre devront être retournés dans les plus brefs délais.

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

EDITORIAL POLICY

Original papers in French or in English based on research in basic and applied ecology, taxonomy, morphology and earth sciences will be considered for publication in this journal. The papers will be judged on the basis of their contribution of original data and ideas or interpretation. *Review articles* will not be accepted unless they lead to new and important generalizations. *Short articles* (no more than four pages in the journal) may be accepted as "Communications brèves". They should be distinguished from papers on the basis of scope rather than quality of the research.

GENERAL PRACTICES

Manuscripts should be typewritten in double spacing throughout on one side of bond paper 21.5 x 28 cm, and submitted in triplicate to the Secretary of the Editorial Board.

The sequence of material in the manuscript as submitted should be: (1) title; (2) author's name; (3) author's affiliation and address; (4) a condensed running head of no more than 60 letters and spaces (on a separate page); (5) French and English abstracts limited to 300 words; (6) the manuscript proper; (7) on separate pages references, tables (numbered consecutively in Roman numerals) and figure legends (numbered consecutively in Arabic numerals).

MANUSCRIPT DETAILS

The arrangement of the contents should generally be as follows: Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, and References.

In preparing copy please take account of the following remarks: (1) underscore only where italics are intended; (2) footnotes are to be avoided and wherever impossible they should be consecutively numbered; (3) either metric or English units may be used; however use of the former is recommended; (4) appendixes should be avoided and will not be usually accepted if exceeding one page.

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:

LEGENDTRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5): 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In: D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Abbreviations for periodicals should follow the "World List of Scientific Periodicals" (1963 edition).

ILLUSTRATIONS

The first two 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 card-board, and clearly numbered at the right corner of each photograph. Three complete sets of photographs must be included.

Drawings are 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 x 20 cm, inclusive of captions.

Captions for illustrations should be typed in paragraph form on a separate page. Moreover each illustration should be clearly labelled on back, giving the name of the author and the figure number.

PROOFS AND REPRINTS

Galley proofs will be sent to the author together with an order blank for reprints. The corrected proof with the order for reprints should be returned immediately.

Vente à prix réduit
de collections d'anciens volumes du
NATURALISTE CANADIEN

Les Presses de l'Université Laval sont dans l'obligation de libérer leurs entrepôts de certains surplus de revues. La direction du *Naturaliste canadien* met donc en vente, à prix réduits, des collections d'anciens volumes de la revue, durant une courte période, au tarif suivant :

Volume 60 (1933) à 92 (1965), \$8.00 le volume.

Volume 93 (1966) à 104 (1977), \$10.00 le volume.

Le volume 101 (1974) est épuisé.

Trois collections d'anciens numéros de 1868 à 1891 (volumes 1 à 20), de la période de Provancher, et de 1894 à 1932 (volumes 21 à 59), de la période de Huard, sont disponibles. Prix sur demande.

Secrétariat de la rédaction
« Le Naturaliste canadien »
Université Laval
Québec. G1K 7P4

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Mars-avril 1979

Numéro 2

SOMMAIRE

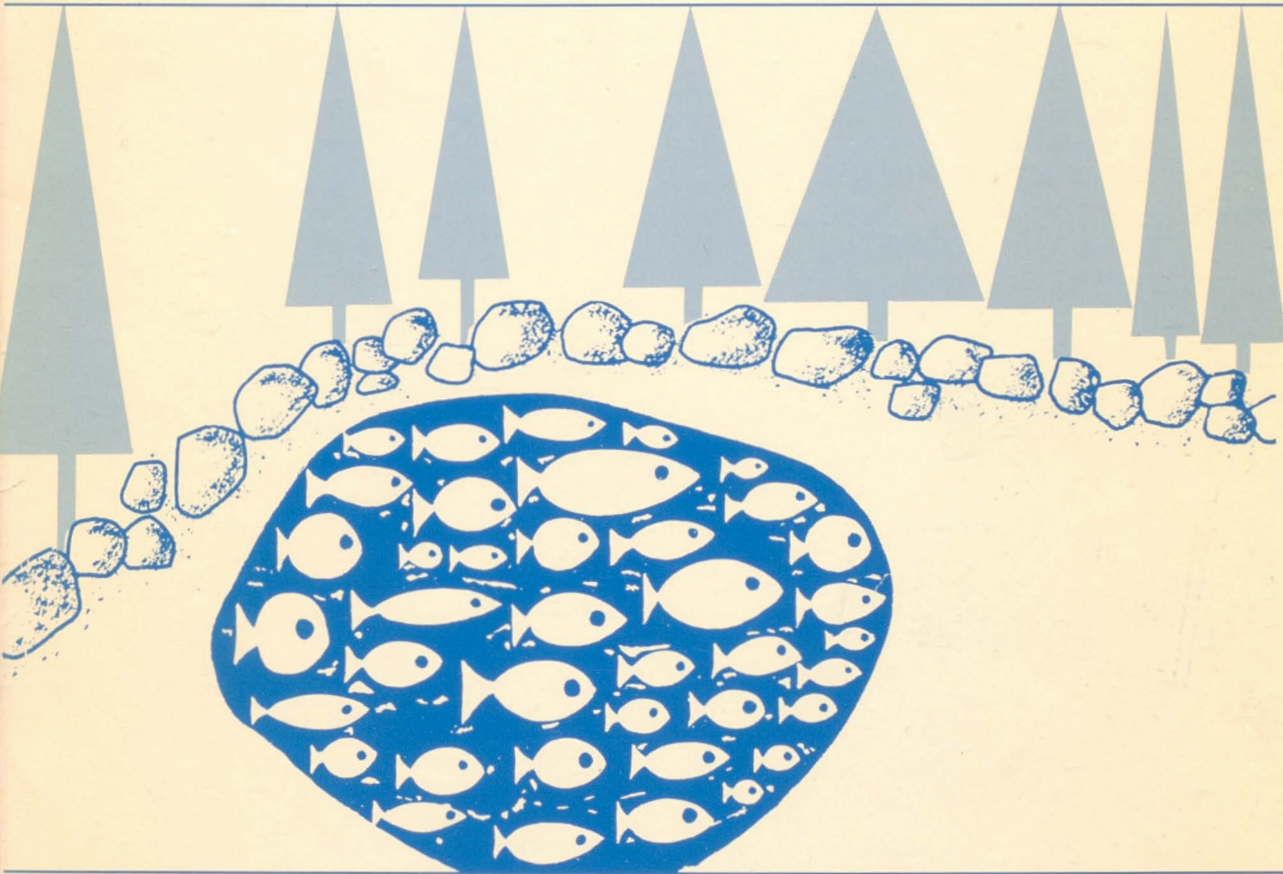
PINEL-ALLOUL, Bernadette et Étienne MAGNIN. Étude de la nourriture de <i>Lymnaea catascopium catascopium</i> (Gastropoda, Lymnaeidae) dans le lac Saint-Louis, fleuve Saint-Laurent, Québec	277-287
PINEL-ALLOUL, Bernadette. Communautés zooplanctoniques d'un petit lac de la Radissonie	289-304
BARBOUR, S. E., P. J. ROMBOUGH and J. J. KERKES. A life history and ecologic study of an isolated population of "dwarf" Ouananiche, <i>Salmo salar</i> , from Gros Morne National Park, Newfoundland	305-311
DOYON, Dominique et Gérard CLABAULT. Application de l'analyse factorielle des correspondances à l'étude des pâturages semi-naturels de la région de Québec	313-330
GERVAIS, Camille. Le <i>Chenopodium strictum</i> Roth au Québec et ses caractères distinctifs	331-336
COMMUNICATIONS BRÈVES :	
CURTIS, Mark A. Metazoan parasites of resident arctic char (<i>Salvelinus alpinus</i>) from a small lake on southern Baffin Island	337-338
SIROIS, Luc. Premières mentions du <i>Mimulus moschatus</i> Dougl. pour l'est du Québec	339
GAGNON, J. D. et H.S.D. SWAN. Réaction à la fertilisation, à l'éclaircie et à la combinaison des deux dans un peuplement de sapin âgé de 10-20 ans	341-343
NOTICE NÉCROLOGIQUE :	
BERGERON, Julien et Paul DUSSAULT. Alexandre Marcotte (1914-1979)	345-346
REVUE DES LIVRES	347-353

Volume 106,
numéro 3
mai-juin 1979

BIBLIOTHÈQUE
DU MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET
DES RESSOURCES DU QUÉBEC

le naturaliste canadien

revue d'écologie et de systématique



Fondé en 1868
par l'abbé L. Provancher

Les Presses de l'Université Laval

LE NATURALISTE CANADIEN

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR

G.-WILFRID CORRIVAUT

DIRECTEUR-ADJOINT

MIROSLAV GRANDTNER

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

PIERRE MORISSET

COMITÉ DE RÉDACTION

RENÉ BÉLAND, *Université Laval*

RENÉ BÉIQUE, *Direction générale de la conservation, Ministère des terres et forêts, Québec*

JULIEN BERGERON, *Ministère de l'industrie et du commerce, Québec*

BERNARD BERNIER, *Université Laval*

PAUL BERTHET, *Faculté des sciences de Lyon*

PIERRE COUILLARD, *Université de Montréal*

MICHEL DELSOL, *Faculté catholique de Lyon*

LLOYD M. DICKIE, *Institut d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*

ANDRÉ GAGNON, *Université Laval*

PAUL GERVAIS, *Université Laval*

ROGER HEIM, *Muséum national d'histoire naturelle de Paris*

WILLIAM S. HOAR, *Université de la Colombie-Britannique*

ROBERT LAGUEUX, *Université Laval*

VICTORIN LAVOIE, *Université Laval*

ERNEST LEPAGE, *Saint-Simon, Rimouski*

TREVOR PLATT, *Laboratoire d'écologie marine, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, N. E.*

GASTON MOISAN, *Service de la faune du Québec*

W.E. RICKER, *Office des recherches sur les pêcheries du Canada*

D. M. ROSS, *Université d'Alberta*

HENRI TINTANT, *Faculté des sciences de Dijon*

ADMINISTRATION (abonnements, changements d'adresse, droits de reproduction):

Les Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4

Abonnement annuel

personnel: \$17.00

— collectif: \$34.00

— le numéro: \$4.00

Étranger: \$19.00

(multi-user)

— numéros spéciaux: \$10.00

Publication bimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN accepte des **articles inédits**, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée (agronomique, forestière), de la systématique, de la morphologie ou des sciences de la terre.

De brèves **communications scientifiques** seront acceptées pour publication rapide. Elles ne devront pas excéder 1,500 mots, titre et bibliographie compris.

Les **manuscrits** doivent être adressés au **Secrétariat de la rédaction**, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec G1K 7P4, Québec.

LE NATURALISTE CANADIEN est publié avec l'aide du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec.

Répertorié dans Current Contents, Biological Abstracts et Périodex.

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement no 1768

Dépôt légal — Deuxième trimestre 1979. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Mai-juin 1979

Numéro 3

PHÉNOLOGIE ET ACTIVITÉ LOCOMOTRICE DE COLÉOPTÈRES CARABIDAE DES LAURENTIDES (QUÉBEC)¹

Claire LEVESQUE², Jean-Guy PILON, Jean DUBÉ³

*Département des sciences biologiques, Université de Montréal,
Case postale 6128, Succursale «A», Montréal, H3C 3J7
et*

Gilles-Y. LEVESQUE

*Centre de recherche sur la croissance humaine,
Université de Montréal, 2801 Édouard-Montpetit, Montréal, H3T 1J6*

Résumé

Nous étudions les 17 espèces de Coléoptères Carabidae les plus abondantes parmi les 51 espèces recueillies à l'aide de pièges à fosse dans huit biotopes forestiers et une clairière des Laurentides au cours des années 1969 à 1971. En nous basant sur l'activité locomotrice saisonnière et l'état de développement des individus, nous pouvons reconnaître deux types de cycles vitaux. L'utilisation d'indices d'activité locomotrice (I_{AL}) permet de constater que l'activité de plusieurs espèces carabiques serait en relation avec la température de l'air ou avec l'humidité relative de l'air ou avec ces deux facteurs climatiques. L'activité locomotrice nocturne est prédominante.

Abstract

Fifty-one species of Carabidae (Coleoptera) were collected with pitfall traps in eight forested areas and a clearing in the Laurentides region from 1969 to 1971. Based on the seasonal locomotor activity and the developmental stage of individuals, two groups of life cycles among the 17 most common species were recognized. Locomotor activity indexes (I_{AL}) were calculated for several species. These indexes show that the activity of those species appeared to be related to climatic conditions (air temperature or relative humidity or both). Nocturnal locomotor activity was prevalent.

Introduction

Au cours des années 1969 à 1971, nous avons étudié les affinités cénotiques des Coléoptères Carabidae de biotopes forestiers des Laurentides, au nord de Montréal (Québec) (Levesque *et al.*, 1976). Nous étudions maintenant la phénologie de 17 des 51 espèces qui ont été recueillies, en nous basant sur l'activité locomotrice saisonnière et l'état de développement des individus,

puis nous établissons des relations entre l'activité locomotrice et les facteurs climatiques et discutons brièvement de l'activité nyctémérale.

Matériel et méthodes

Notre étude s'est déroulée à la Station de biologie de l'Université de Montréal, près de Saint-Hippolyte (46°N, 74°W) en 1969 et

¹ Extrait des mémoires de maîtrise de Claire Trudel-Levesque (1971) et de Jean Dubé (1973), présentés à l'Université de Montréal.

² Adresse actuelle: 4635 Bourret, apt. 68, Montréal, H3W 1K9.

³ Adresse actuelle: Laboratoire de recherches, Service de la faune, 5075 Fullum, Montréal, H2H 2K3.

1970 et à la Station piscicole des Laurentides située à Morrison, près de Saint-Faustin (46°07'N, 74°30'W) en 1971. Les biotopes échantillonnés sont une clairière, un peuplement à dominance de bouleau à papier, deux érablières à sucre, un peuplement décidu mélangé, une forêt mixte, un peuplement à dominance de sapin, un peuplement à dominance de mélèze et une plantation de pins. Une description de la région d'étude et des biotopes, ainsi que les informations relatives à notre méthode d'échantillonnage (pièges à fosse) et à l'identification des espèces carabiques, ont déjà été présentées par Levesque *et al.* (1976).

Pour déterminer la période d'émergence des nouveaux adultes, nous nous sommes basés sur la couleur et le durcissement de la cuticule. Le terme «ténéral» désigne les nouveaux imagos dont la cuticule n'est pas complètement durcie ou n'a pas atteint sa couleur définitive.

Dans le but d'étudier la reproduction des espèces les plus abondantes, nous avons conservé plusieurs femelles dans le «Maltai» (10 cm³ sucre granulé, 2 ml glycérine pure, 3 ml formaldéhyde, 2 ml acide acétique glacial, 83 ml eau). De plus, en utilisant la méthode décrite par Carayon (1951) pour le ramollissement, nous avons pu disséquer une partie des femelles épignées au cours de l'année 1970. Nous distinguons trois degrés de maturité sexuelle chez les femelles de certaines espèces, soit les immatures, les gravides, et celles ayant déjà pondu leurs œufs («vides» ou «spent»); la présence du *corpus luteum* permet de distinguer les vides des immatures.

Les données climatiques considérées sont la température minimale de l'air et l'humidité relative de l'air, obtenues des stations de météorologie de Saint-Hippolyte en 1969 et en 1970 et de Saint-Faustin en 1971; les valeurs utilisées sont les moyennes des 48 heures précédant l'échantillonnage.

Pour chacune des espèces et pour chacune des années d'échantillonnage, nous avons calculé une série de valeurs d'un indice d'activité locomotrice (I_{AL}) à l'aide de la formule suivante:

$$I_{AL} = \frac{\frac{n_{ij}}{e_{ij}}}{\frac{N}{E}}$$

où

n_{ij} est le nombre de captures de l'espèce pour une combinaison de température minimale (i, clas-

ses de 5°C) et d'humidité relative de l'air (j, classes de 15%),

e_{ij} est le nombre d'échantillons pour lesquels une combinaison ij particulière a été observée, $N = \sum n_{ij}$ est le nombre total d'individus de l'espèce qui ont été capturés au cours de la période d'échantillonnage,

$E = \sum e_{ij}$ est le nombre total d'échantillons pour une année, soit 54 dans notre cas (du 22 mai au 5 septembre en 1969 et en 1971, et du 21 mai au 4 septembre en 1970).

Les valeurs obtenues sont disposées en tableaux à double entrée. Les valeurs les plus élevées de l'indice correspondent à une intense activité de l'espèce, pour une combinaison « ij » de facteurs climatiques, au cours d'une année d'échantillonnage.

Pour l'étude de l'activité nyctémérale, nous avons vidé les pièges à fosse le matin entre 7h30 et 10h, et le soir entre 17h et 19h30, pendant deux jours consécutifs ou plus, à des intervalles irréguliers, dans les quatre peuplements décidus seulement.

Phénologie et cycles vitaux

Nous décrivons la phénologie des 17 espèces les plus abondantes dans les biotopes forestiers des Laurentides. Ces informations permettent de discuter des types de cycles vitaux chez les Carabidae.

PHÉNOLOGIE DE CHACUNE DES ESPÈCES

Chez *Agonum decentis* Say, la reproduction serait printanière car les femelles gravides constituent la majorité des captures entre la mi-mai et la fin de juin (fig. 1). L'hibernation se ferait à l'état adulte, ce qui confirme les observations de Laroche (1972a) et de Bousquet et Pilon (1977).

La majorité des *Agonum retractum* Lec. ont été capturés en juin et en juillet (fig. 1); la reproduction aurait lieu au début de l'été, en accord avec les accouplements observés par Laroche (1972b), et il n'y aurait qu'une seule période d'activité locomotrice. À l'instar de Freitag et Poulter (1970), nous croyons que l'hibernation au stade larvaire serait prédominante, tandis que Lindroth (1955 et 1961-1969) et Laroche (1972a) mentionnent que l'hibernation des adultes est répandue.

Chez *Amara cupreolata* Putz., la grande majorité des femelles gravides ayant été capturées en mai et en juin, la reproduction serait printanière (fig. 2). Des individus ténaux sont observés à partir du 31 juillet.

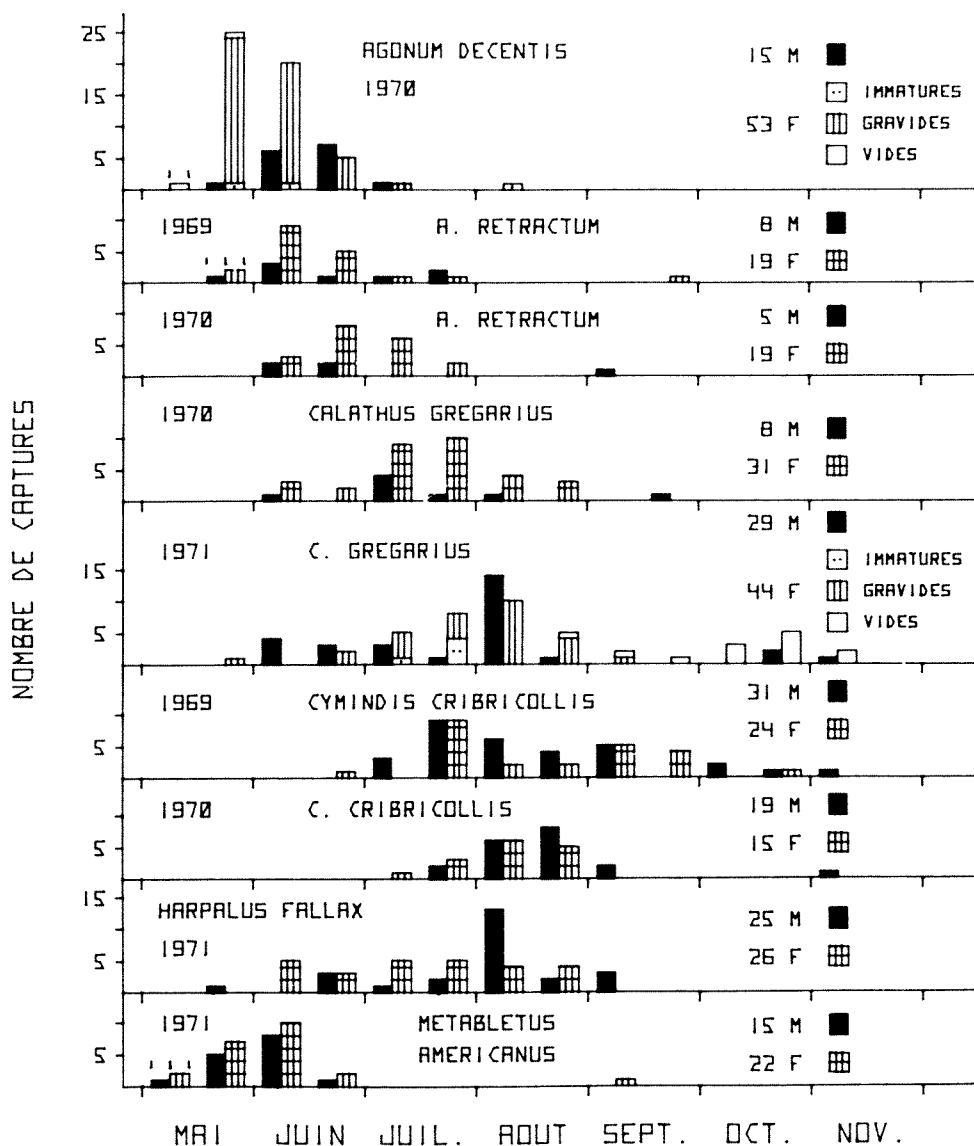


Figure 1. Histogrammes de fréquences du nombre de captures des mâles et des femelles de *Agonum decentis*, de *A. retractum*, de *Calathus gregarius*, de *Cymindis cribricollis*, de *Harpalus fallax* et de *Metabletus americanus*. (Note: les traits au-dessus des premières fréquences de certains histogrammes indiquent que l'échantillonnage n'a pas été effectué pendant toute la première quinzaine considérée au cours d'une année.)

let, et l'activité locomotrice de cette nouvelle génération se poursuit jusqu'à la fin d'octobre; l'activité de cette génération a aussi été observée par Lindroth (1961-1969) en Alberta. Chez cette espèce, les adultes hibernent; la présence de femelles vides en octobre indique que certains individus pourraient possiblement hiberner une seconde fois.

Calathus gregarius Say se reproduit surtout en juillet et en août (fig. 1). La période d'activité locomotrice est très longue, débutant à la fin de mai pour se poursuivre jusqu'en novembre sans interruption, ce qui coïncide avec les observations de Rivard (1964a) dans le sud de l'Ontario. Puisque l'on capture des femelles immatures en juillet et des femelles vides

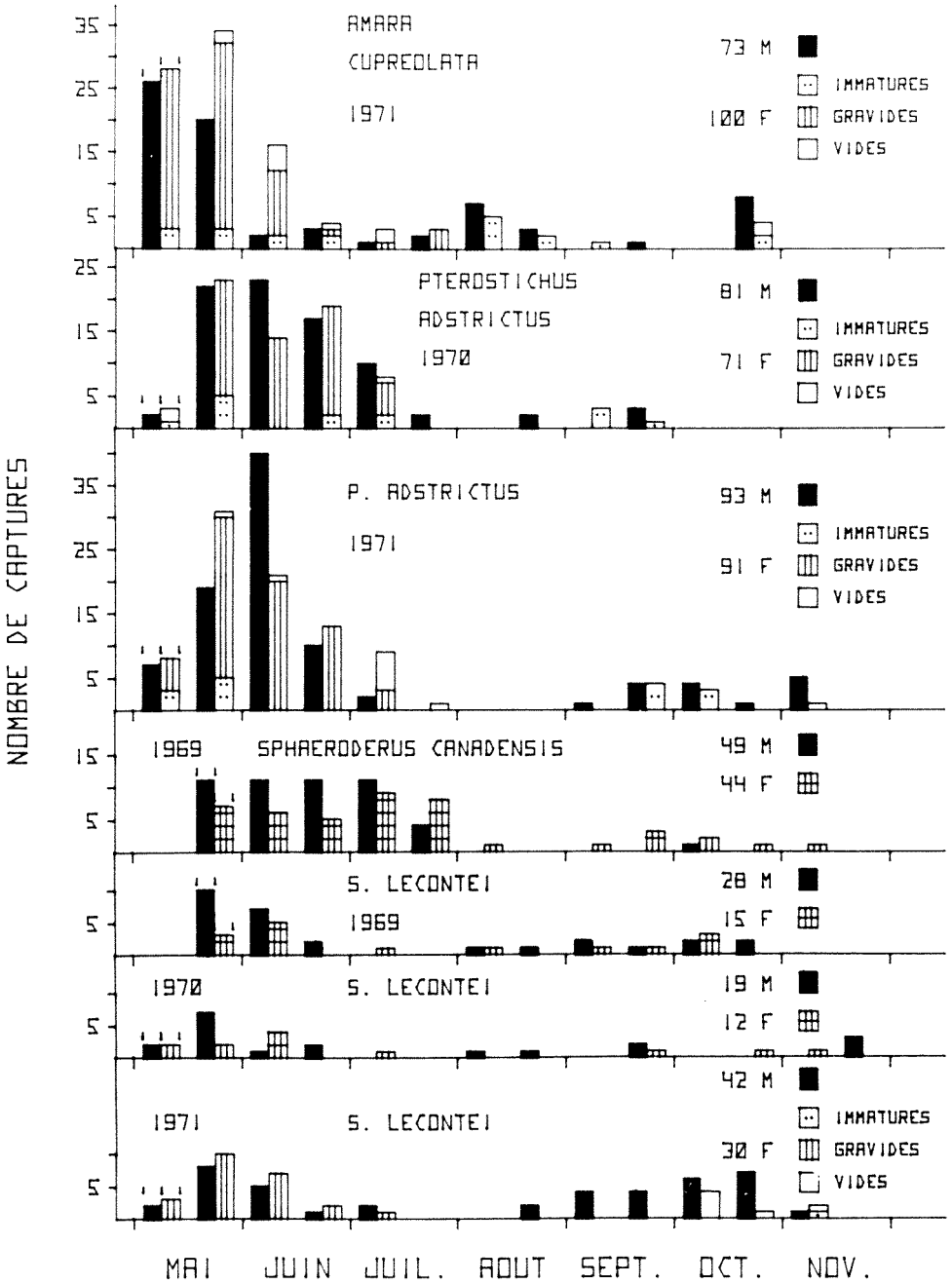


Figure 2. Histogrammes de fréquences du nombre de captures des mâles et des femelles de *Amara cupreolata*, de *Pterostichus adstrictus*, de *Sphaeroderus canadensis* et de *S. lecontei*. (Voir note à la figure 1.)

en automne, l'hibernation se ferait tant au stade larvaire qu'au stade adulte chez cette espèce, comme le mentionne Lindroth (1961-1969).

L'activité de *Cymindis cribricollis* Dej. ne débute qu'à la fin de juin, est intense en juillet et en août et se poursuit jusqu'en novembre; la reproduction est probablement estivale (fig. 1). Une période d'activité comparable, de la fin de juin au début d'octobre, a été observée par Schmoller (1970) dans la toundra alpine au Colorado. L'hibernation au stade larvaire serait dominante, compte tenu de l'absence totale d'activité printanière, mais les imagos actifs en automne pourraient possiblement hiberner; ces observations entrent en contradiction avec celles de Lindroth (1955 et 1961-1969).

Les captures de *Harpalus fallax* Lec. s'échelonnent de la fin de mai au début de septembre (fig. 1). La capture de trois individus ténéraux à la fin de la période d'activité permet de supposer que la période de reproduction débute en juin, et que des imagos hibernent.

L'activité locomotrice de *Metabletus americanus* Dej. se concentre en mai et en juin, et la reproduction est printanière (fig. 1). La capture d'une femelle en septembre suggère l'existence d'une deuxième période d'activité telle qu'observée par Frank (1971) en Alberta. En accord avec Lindroth (1955 et 1961-1969), l'hibernation des adultes serait prédominante.

Pterostichus adoxus Say est actif de la fin de mai au début d'octobre (fig. 3); la reproduction aurait lieu pendant les mois de juin, juillet et août. L'hibernation se ferait au stade larvaire, du moins pour une partie de la population.

L'activité locomotrice de *Pterostichus adstrictus* Esch. est particulièrement intense en mai, juin et juillet; la présence de plusieurs femelles vides en juillet démontre que la reproduction est printanière (fig. 2). Une deuxième période d'activité, débutant dans les derniers jours d'août et pouvant se poursuivre jusqu'en novembre, est surtout le fait des imagos de la nouvelle génération. Chez cette espèce, les adultes hibernent; la présence de femelles vides dans la première quinzaine de mai en 1970 et en novembre 1971 indique que certains imagos hiberneraient une seconde fois. De façon générale, nos observations confirment celles de Lindroth (1955 et 1961-

1969), de Frank (1971), de Goulet (1974) et de Bousquet et Pilon (1977).

L'activité de *Pterostichus coracinus* Newm. débute en mai, est importante en juin, juillet et août, ce qui correspondrait à la période de reproduction, et se poursuit jusqu'aux premiers jours d'octobre (fig. 3); cette même période a été observée par Barlow (1970) dans la région de l'Outaouais et par Bousquet et Pilon (1977) dans la région de Charlevoix, mais elle est plus longue que celle observée par Rivard (1964a) à Belleville en Ontario. Les individus capturés avant la mi-juillet auraient hiberné au stade adulte, tandis que la majorité de ceux capturés après la mi-juillet auraient hiberné au stade larvaire. L'existence des deux types d'hibernation est aussi notée par Barlow (1970) et par Bousquet et Pilon (1977), alors que d'après Lindroth (1955 et 1961-1969), seule l'hibernation imaginale existe chez cette espèce.

Chez *Pterostichus lachrymosus* Newm., l'activité locomotrice débute à la fin de mai et se poursuit jusqu'au début d'octobre (fig. 3). La reproduction aurait lieu pendant les mois où l'activité est la plus intense, soit juin, juillet et août. La présence d'adultes au mois de mai permet d'envisager l'hibernation imaginale d'au moins une partie de la population.

La période d'activité locomotrice de *Pterostichus lucublandus* Say comporte deux phases bien distinctes. En premier lieu, toutes les femelles gravides et la majorité des mâles ayant été obtenus en mai, juin et juillet, la reproduction se terminerait au milieu de l'été (fig. 3). En deuxième lieu, les individus capturés d'août à novembre sont très généralement ténéraux. Il en découle que seuls les imagos hiberneraient chez cette espèce. Nos observations concordent avec celles de Lindroth (1961-1969), Rivard (1964b), Barlow (1970), Frank (1971), Kirk (1971) et Laroche (1972b).

Chez *Pterostichus melanarius* Ill., la période d'activité s'étend de mai à octobre, le maximum d'activité se situant en juillet et août (fig. 3). Cette espèce est caractérisée par une longue période de reproduction, puisque la plupart des femelles capturées entre juin et septembre sont gravides. La présence d'imagos dès le mois de mai, d'une part, et la présence de femelles gravides en septembre, d'autre part, mettent en évidence le fait que l'hibernation a lieu tant au stade adulte qu'au stade larvaire. Nos résultats confirment ceux de Briggs

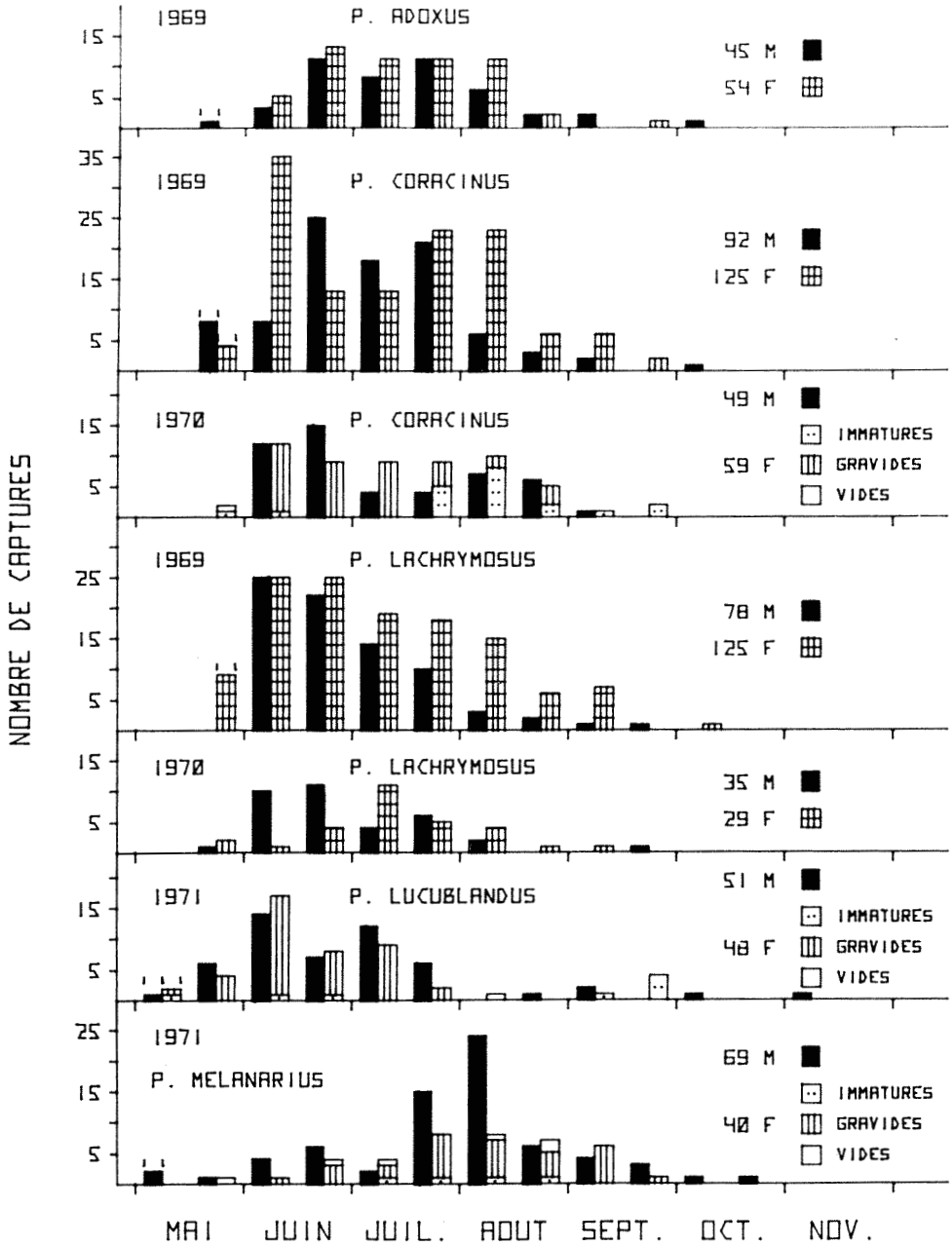


Figure 3. Histogrammes de fréquences du nombre de captures des mâles et des femelles de *Pterostichus adoxus*, de *P. coracinus*, de *P. lachrymosus*, de *P. lucublandus* et de *P. melanarius*. (Voir note à la figure 1.)

(1956, 1960 et 1965), Lindroth (1961-1969), Rivard (1964a et b), Greenslade (1965) et Barlow (1970).

Pterostichus pensylvanicus Lec. se reproduit du début de mai jusqu'à la fin de juillet au cours d'une première période d'activité locomotrice pendant laquelle toutes les femelles gravides sont capturées (fig. 4). Au mois de mai, les captures de mâles sont aussi importantes que celles de femelles; par la suite, jusqu'à la fin de juillet, les femelles sont beaucoup plus actives que les mâles. Une deuxième période d'activité locomotrice, de plus faible intensité, débute à la fin d'août et se poursuit jusqu'en novembre; elle implique les imagos de la nouvelle génération, la plupart étant ténéraux, et certains individus de la génération parentale. Chez cette espèce, les adultes hibernent; la présence de femelles vides dans la première quinzaine de mai et à la fin de l'automne indique que certains imagos hiberneraient une seconde fois. Nos résultats corroborent ceux de Lindroth (1955 et 1961-1969), Barlow (1970), Larochelle (1972a) et Goulet (1974). Par ailleurs, nous sommes en désaccord avec Rivard (1964b) qui mentionne que la reproduction est automnale chez cette espèce, et avec Freitag et Poulter (1970) en ce qui concerne le stade d'hibernation.

L'activité de *Sphaeroderus canadensis* Chd. est intense durant les mois de mai, juin et juillet, période probable de la reproduction (fig. 2). Les captures automnales refléteraient l'activité d'imagos de la nouvelle génération et peut-être aussi l'activité de certains individus de la génération reproductrice. En accord avec Lindroth (1961-1969), les adultes hiberneraient chez cette espèce.

Chez *Sphaeroderus lecontei* Dej., la première période d'activité locomotrice, du début de mai jusqu'en juillet, correspond à la période de reproduction pendant laquelle les femelles sont gravides (fig. 2). D'après les observations de Larochelle (1972b) et de Bousquet et Pilon (1977), les adultes s'accoupleraient aussi à l'automne, ce que nous ne pouvons confirmer. L'activité locomotrice automnale est le fait d'adultes immatures et de certains imagos de la génération parentale. À l'instar de Lindroth (1961-1969) et de Bousquet et Pilon (1977), nous pensons que cette espèce hiberne au stade adulte; la présence de femelles vides

à la fin de l'automne suggère que certains individus hiberneraient une seconde fois.

Au cours de nos trois années d'échantillonnage, les captures de *Synuchus impunctatus* Say ont débuté à la fin de juin pour se terminer vers la mi-septembre (fig. 5), ce qui coïncide avec les observations de Rivard (1964a) dans le sud de l'Ontario. Cette période correspond à celle de la reproduction puisque la majorité des femelles capturées sont gravides. L'hibernation semble se faire exclusivement à l'état larvaire vu l'absence totale d'activité printanière et le peu de captures automnales; nos résultats confirment les observations de Lindroth (1955 et 1961-1969) et de Bousquet et Pilon (1977).

TYPES DE CYCLES VITAUX

Nous pouvons reconnaître deux types de cycles vitaux chez les espèces de Carabidae des biotopes forestiers des Laurentides.

Le premier type englobe les espèces possédant deux périodes d'activité locomotrice. La première période, de mai à la mi-juillet en général, coïncide avec celle de la reproduction; la deuxième période, de la fin d'août à novembre, résulte de l'activité d'imagos immatures et de certains des adultes qui se sont reproduits au printemps. L'absence ou le nombre très restreint de captures d'adultes dans l'intervalle entre ces deux périodes d'activité locomotrice découlerait de la mort de nombreux adultes actifs durant la période de reproduction, de la forte proportion de la population qui est à l'état larvaire et nymphal, et de l'inactivité des nouveaux imagos de la population. Ce type est caractérisé par l'hibernation au stade adulte d'individus généralement immatures. Ce type de cycle vital se retrouve chez *Agonum decentis*, *Amara cupreolata*, *Metabletus americanus*, *Pterostichus adstrictus*, *P. lucublandus*, *P. pensylvanicus*, *Sphaeroderus canadensis* et *S. lecontei*. L'importance numérique relative des captures de ces huit espèces au cours de la deuxième période est très généralement inférieure à celle de la première période d'activité locomotrice (fig. 1 à 4). Cette situation pourrait être expliquée par les conditions climatiques peu favorables à l'automne et par notre méthode d'échantillonnage sans remise des captures dans la population; en effet, le nombre très élevé de captures au cours de la période de reproduction pouvait entraîner une baisse substantielle de la densité de

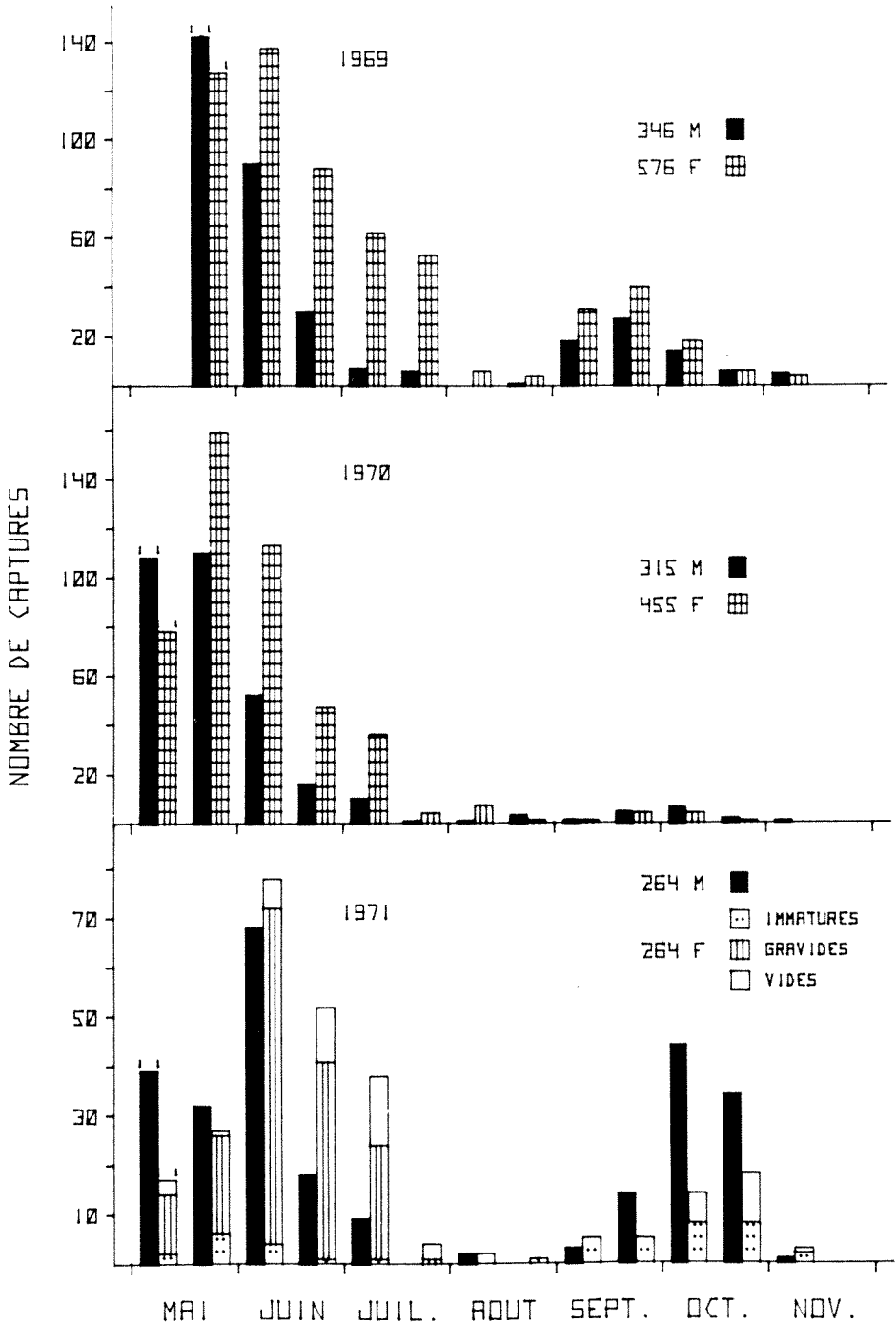


Figure 4. Histogrammes de fréquences du nombre de captures des mâles et des femelles de *Pterostichus pensylvanicus* en 1969, 1970 et 1971. (Voir note à la figure 1.)

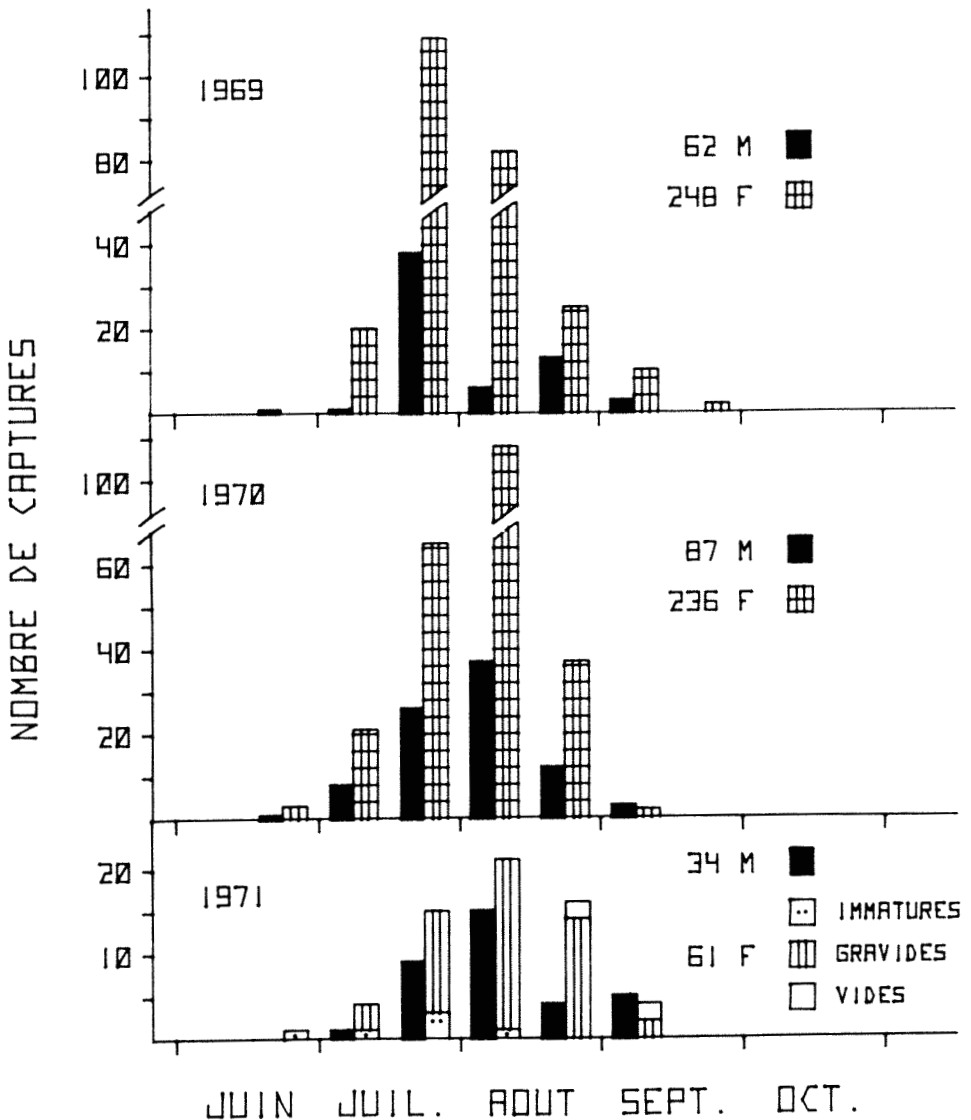


Figure 5. Histogrammes de fréquences du nombre de captures des mâles et des femelles de *Synuchus impunctatus* en 1969, 1970 et 1971.

la population de ces Carabidae au cours de la période automnale d'activité locomotrice.

Le deuxième type de cycle vital regroupe les espèces n'ayant qu'une seule période plus ou moins longue d'activité locomotrice. La reproduction est estivale; les individus hiberneraient tant au stade larvaire qu'au stade adulte chez certaines espèces et exclusivement au stade larvaire chez d'autres espèces. Ce type se rencontre chez *Calathus gregarius*, *Cymindis cribricol-*

lis, *Pterostichus adoxus*, *P. coracinus*, *P. lachrymosus*, *P. melanarius* et *Synuchus impunctatus*, et possiblement chez *Agonum retractum* et *Harpalus fallax*.

Activité locomotrice et facteurs climatiques

Afin d'étudier les fluctuations du nombre de captures par rapport aux facteurs climatiques, au cours d'une année d'échantillonnage, nous

TABLEAU I

Valeurs des indices d'activité locomotrice (IAL) pour *Agonum decentis*, *Amara cupreolata*, *Pterostichus adoxus*, *P. lucublandus*, *P. melanarius* et *Sphaeroderus canadensis*, en 1969, 1970 et 1971.

Humidité relative (%)	Température minimale (°C)				Espèces, année, effectif
	< 5	5-9,9	10-14,9	≥ 15	
≤ 54	1,46	4,01	5,84	—	<i>Agonum decentis</i> 1970 N = 74
55-69	2,92	0,73	1,09	2,19	
70-84	—	1,46	0,00	0,53	
≥ 85	—	—	0,88	0,24	
≤ 54	6,80	0,90	0,60	—	<i>Amara cupreolata</i> 1971 N = 90
55-69	0,60	0,94	2,10	0,60	
70-84	0,90	0,80	0,42	0,00	
≥ 85	—	0,60	0,30	0,00	
≤ 54	0,84	0,56	—	1,69	<i>Pterostichus adoxus</i> 1969 N = 96
55-69	0,56	0,64	0,56	3,09	
70-84	—	0,11	0,88	1,69	
≥ 85	0,00	—	0,28	1,55	
≤ 54	2,66	1,99	0,61	—	<i>Pterostichus lucublandus</i> 1971 N = 88
55-69	1,84	1,40	0,31	3,68	
70-84	0,00	0,27	0,43	0,61	
≥ 85	—	0,92	1,23	1,23	
≤ 54	0,19	0,42	1,41	—	<i>Pterostichus melanarius</i> 1971 N = 96
55-69	0,56	0,48	1,69	0,56	
70-84	0,84	0,75	1,63	0,94	
≥ 85	—	0,56	1,69	1,69	
≤ 54	0,95	1,27	—	1,91	<i>Sphaeroderus canadensis</i> 1969 N = 85
55-69	3,18	2,00	0,85	2,54	
70-84	—	0,64	0,73	0,64	
≥ 85	1,27	—	0,95	0,00	

avons calculé une série de valeurs des indices d'activité locomotrice (IAL) pour chacune des espèces. Ces indices sont établis pour les deux sexes, car des analyses préliminaires ont démontré qu'il est superflu de séparer les mâles et les femelles. Seules les onze espèces les plus nombreuses sont considérées.

Chez *Agonum decentis*, *Pterostichus adstrictus*, *P. lucublandus*, *P. pensylvanicus* et *Sphaeroderus canadensis*, les adultes tendent à être plus actifs lorsque l'humidité relative de l'air est inférieure à 70%, quelle que soit la température minimale de l'air (tableaux I à III). Pour *A. decentis*, ceci peut s'expliquer par le fait que les imagos de cette espèce hygrophile (Levesque *et al.*, 1976) recherchent les endroits les plus humides lorsque l'humidité relative de l'air est faible. Selon Barlow (1970), l'activité locomotrice de *P. lucublandus* et de *P.*

pensylvanicus débiterait plus tôt lorsque le printemps est hâtif; nos indices ne tenant pas compte de la date de capture, nous ne pouvons confirmer ce point. Toutefois, pour ces deux espèces, nous notons que l'activité est déjà relativement intense lorsque la température minimale est légèrement supérieure au point de congélation (<5°C) (tableaux I et III).

L'activité de *Amara cupreolata* serait maximale quand la température minimale de l'air est inférieure à 5°C et l'humidité relative de l'air est très faible (<55%) (tableau I). Ces conditions climatiques s'observent surtout en mai, cette espèce des milieux ouverts (clairière) parvient au maximum de son activité locomotrice plus tôt que toutes les autres espèces de la région.

L'activité des imagos tend à être plus importante lorsque la température minimale de l'air est d'au moins 10°C en ce

TABLEAU II

Valeurs des indices d'activité locomotrice (IAL) pour *Pterostichus adstrictus*, *P. coracinus* et *P. lachrymosus*, en 1969, 1970 et 1971.

Espèce	Humidité relative (%)	Température minimale (°C)							
		< 5	5-9,9	10-14,9	≥ 15	< 5	5-9,9	10-14,9	≥ 15
<i>Pterostichus adstrictus</i>	≤ 54	1,30	3,46	4,75	—	2,57	1,64	0,96	—
	55-69	0,00	1,24	0,73	2,59	2,31	2,09	0,58	0,39
	70-84	—	0,86	0,80	0,51	0,00	1,16	0,54	0,13
	≥ 85	—	—	1,21	0,14	—	0,19	0,00	0,39
		1970 N = 125				1971 N = 140			
<i>Pterostichus coracinus</i>	≤ 54	0,51	0,76	—	1,52	0,00	1,02	1,70	—
	55-69	0,25	1,16	1,10	0,89	0,00	0,34	1,56	2,38
	70-84	—	0,81	0,87	1,27	—	0,51	0,92	1,54
	≥ 85	0,25	—	1,14	1,27	—	—	0,61	0,34
		1969 N = 213				1970 N = 159			
<i>Pterostichus lachrymosus</i>	≤ 54	0,67	0,54	—	1,07	0,00	0,44	1,74	—
	55-69	0,00	1,34	0,72	1,88	0,00	0,87	1,31	1,74
	70-84	—	0,70	0,88	1,37	—	0,65	1,74	1,27
	≥ 85	0,00	—	1,75	0,54	—	—	0,17	0,00
		1969 N = 201				1970 N = 62			

qui concerne *Pterostichus melanarius*, et supérieure à 15°C dans le cas de *P. adoxus*, et ce quelle que soit l'humidité relative de l'air (tableau I). Barlow (1970) mentionne que l'activité saisonnière des adultes de *P. melanarius* commence plus tôt si la température printanière est élevée, tandis que Briggs (1960) rapporte que le nombre de captures de cette espèce tend à être plus important quand la température minimale de l'herbe est plus élevée.

Les adultes de *Pterostichus coracinus*, de *P. lachrymosus* et de *Synuchus impunctatus* ne possèdent pas de préférences climatiques bien définies, bien que l'activité de ces imagos ait tendance à être plus élevée lorsque la température minimale de l'air est d'au moins 10°C (tableaux II et III). Selon Barlow (1970), le début de l'activité locomotrice de *P. coracinus* au printemps peut être favorisé par une température élevée.

Activité nyctémérale

Dans les peuplements décidus des Laurentides, les adultes de *Pterostichus coracinus*, *P. lachrymosus*, *P. pensylvanicus*, *Sphaeroderus canadensis*, *S. lecontei* et *Synuchus impunctatus* sont généralement nocturnes (tableau IV); les adultes de *P. adoxus* semblent l'être aussi. Nos résultats

vont dans le même sens que ceux de Park et al. (1931) pour *P. adoxus*, et ceux de Goulet (1974) en ce qui concerne *P. pensylvanicus*. Nos observations confirment les conclusions de Williams (1959), de Greenslade (1963 et 1965), de Thiele et Weber (1968) et de Thiele (1969), qui ont démontré que les Carabidae habitant les forêts tendent généralement à être plus actifs au cours de la nuit. D'après les auteurs précédents, les espèces rencontrées dans les milieux ouverts ont tendance à être diurnes; l'activité nyctémérale n'ayant pu être étudiée dans la clairière, nous ne savons pas si les espèces des Laurentides le sont aussi.

Conclusions

Nous pouvons reconnaître deux types de cycles vitaux chez les espèces de Carabidae des biotopes forestiers des Laurentides. Le premier type se retrouve chez huit espèces; celles-ci ont deux périodes d'activité locomotrice et hiberneraient au stade adulte. Le deuxième type regroupe possiblement neuf espèces; ces dernières n'ont qu'une seule période d'activité locomotrice et hiberneraient tant au stade larvaire qu'à l'état adulte, ou seulement au stade larvaire.

TABLEAU III

Valeurs des indices d'activité locomotrice (IAL) pour *Pterostichus pensylvanicus* et *Synuchus impunctatus*, en 1969, 1970 et 1971.

Espèces	Humidité relative (%)	Température minimale (°C)											
		Année 1969				Année 1970				Année 1971			
		< 5	5-9,9	10-14,9	≥ 15	< 5	5-9,9	10-14,9	≥ 15	< 5	5-9,9	10-14,9	≥ 15
<i>Pterostichus pensylvanicus</i>	≤ 54	1,47	2,46	—	1,03	3,06	5,57	2,30	—	2,26	3,06	2,29	—
	55-69	2,87	2,78	0,75	0,89	2,08	1,13	1,08	1,75	3,48	0,95	0,59	2,55
	70-84	—	1,00	0,41	0,44	—	0,85	0,48	0,34	0,00	0,55	0,42	0,85
	≥ 85	2,05	—	0,62	0,07	—	—	0,55	0,18	—	0,00	0,23	0,00
		N = 790				N = 494				N = 318			
<i>Synuchus impunctatus</i>	≤ 54	0,09	0,00	—	2,81	0,00	0,00	0,00	—	0,00	0,59	0,00	—
	55-69	0,00	0,25	2,17	1,67	0,00	0,65	1,42	0,00	0,00	0,42	3,26	0,00
	70-84	—	0,28	0,83	1,79	—	0,29	0,38	2,39	1,48	0,73	1,90	0,79
	≥ 85	0,00	—	0,00	2,11	—	—	0,30	1,00	—	0,59	1,38	1,78
		N = 307				N = 323				N = 91			

TABLEAU IV

Répartition du nombre de captures au cours de l'étude de l'activité nyctémérale dans les peuplements décidus.

Espèces	Nombre de Captures	
	Jour	Nuit
<i>Pterostichus adoxus</i>	0	4
<i>Pterostichus coracinus</i>	2	15
<i>Pterostichus lachrymosus</i>	2	11
<i>Pterostichus pensylvanicus</i>	25	299
<i>Sphaeroderus canadensis</i>	0	17
<i>Sphaeroderus lecontei</i>	0	13
<i>Synuchus impunctatus</i>	5	24

L'activité locomotrice de certaines espèces carabiques serait en relation avec la température de l'air ou l'humidité relative de l'air ou, beaucoup plus rarement, avec ces deux facteurs climatiques.

L'activité locomotrice serait nocturne chez les espèces carabiques recueillies en grand nombre dans les peuplements décidus des Laurentides.

Remerciements

Nous remercions vivement le personnel de la Station de biologie de l'Université de Montréal pour les multiples services rendus tout au long de cette étude. Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à la direction du Service de la faune du Québec pour les facilités apportées à l'exécution d'une partie de cette recherche. Cette étude a été en partie réalisée grâce à une subvention du Conseil national de recherches du Canada.

Références

- BARLOW, C.A., 1970. Phenology and distribution of some *Pterostichus* (Coleoptera: Carabidae) of eastern Canada. — J. N.Y. ent. Soc., 78: 215-236.
- BOUSQUET, Y. et J.-G. PILON, 1977. Activité saisonnière de quelques Coléoptères Carabidae du Québec. — Anns Soc. ent. Qué., 22: 40-58.
- BRIGGS, J.B., 1956. Some experiments on control of ground-beetle damage to strawberry. — Ann. Rep. East Mallng Res. Stn for 1956, p. 142-145.
- BRIGGS, J.B., 1960. A comparison of pitfall trapping and soil sampling in assessing populations of two species of ground beetles (Col.: Carabidae). — Ann. Rep. East Mallng Res. Stn for 1960, p. 108-112.
- BRIGGS, J.B., 1965. Biology of some ground beetles (Col.: Carabidae) injurious to strawberries. — Bull. ent. Res., 56: 79-93.
- CARAYON, J., 1951. Procédé d'étude anatomique de certains organes internes chez des insectes desséchés. — Feuille Nat., n. sér., 6: 89-93.
- FRANK, J.H., 1971. Carabidae (Coleoptera) of an arable field in central Alberta. — Quaest. Ent., 7: 237-252.
- FREITAG, R. and F. POULTER, 1970. The effects of the insecticides sumithion and phosphamidon on populations of five species of Carabid beetles and two species of Lycosid spiders in Northwestern Ontario. — Can. Ent., 102: 1307-1311.
- GOULET, H., 1974. Biology and relationships of *Pterostichus adstrictus* Eschscholtz and *Pterostichus pensylvanicus* LeConte (Coleoptera: Carabidae). — Quaest. Ent., 10: 3-33.
- GREENSLADE, P.J.M., 1963. Daily rhythms of locomotor activity in some Carabidae (Coleoptera). — Ent. Exp. Appl., 6: 171-180.
- GREENSLADE, P.J.M., 1965. On the ecology of some British Carabidae (Col.) with special reference to life histories. — Trans. Soc. Br. Ent., 16: 149-179.
- KIRK, V.M., 1971. Biological studies of a ground beetle, *Pterostichus lucublandus*. — Ann. ent. Soc. Am., 64: 540-544.
- LAROCHELLE, A., 1972a. Collecting hibernating ground beetles in stumps (Coleoptera: Carabidae). — Coleopt. Bull., 26: 30.
- LAROCHELLE, A., 1972b. Notes sur les périodes d'accouplement de quelques Carabidae du Québec. — Naturaliste can., 99: 61-63.
- LEVESQUE, C., J. DUBÉ et J.-G. PILON, 1976. Inventaire et étude biocénétique des Coléoptères Carabidae de biotopes forestiers des Laurentides (Québec). — Naturaliste can., 103: 569-582.
- LINDROTH, C. H., 1955. The carabid beetles of Newfoundland, including the French islands St-Pierre and Miquelon. — Opusc. Ent. (Lund), suppl. No. 12, 168 p.
- LINDROTH, C. H., 1961-1969. The ground-beetles (Carabidae, excl. Cicindelinae) of Canada and Alaska. — Opusc. Ent. (Lund), suppl. No. 20 (1961), 24 (1963), 29 (1966), 33 (1968), 34 et 35 (1969), xlviii + 1192 p.
- PARK, O., J. A. LOCKETT and D. J. MYERS, 1931. Studies in nocturnal ecology with special reference to climax forest. — Ecology, 12: 709-727.
- RIVARD, I., 1964a. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) from agricultural lands near Belleville, Ontario. — Can. Ent., 96: 517-520.
- RIVARD, I., 1964b. Observations on the breeding periods of some ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in eastern Ontario. — Can. J. Zool., 42: 1081-1084.

- SCHMOLLER, R., 1970. Life histories of alpine tundra Arachnida in Colorado. — *Am. Midl. Nat.*, 83: 119-133.
- THIELE, H. U., 1969. Zusammenhänge zwischen Tagesrhythmik, Jahresrhythmik und Habitatbindung bei Carabiden. — *Oecologia*, 3: 227-229.
- THIELE, H. U. und F. WEBER, 1968. Tagesrhythmen der Aktivität bei Carabiden. — *Oecologia*, 1: 315-355.
- WILLIAMS, G., 1959. Seasonal and diurnal activity of Carabidae, with particular reference to *Nebria*, *Notiophilus* and *Feronia*. — *J. Anim. Ecol.*, 28: 309-330.

DISTRIBUTION ÉCOLOGIQUE DES VERS DE TERRE (OLIGOCHAETA: LUMBRICIDAE) DANS LA FORÊT DU MORGAN ARBORETUM¹

R. G. LÉGER

Département de recherches, Benson et Hedges (Canada) Limitée,
5555 Avenue Royalmount, Ville-Mont-Royal, Québec H4P 1J3

G. J. F. MILLETTE

Département des ressources renouvelables, Faculté d'agriculture,
Collège Macdonald, Université McGill, Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec.

Résumé

Nous avons fait l'étude de la distribution des vers de terre dans plusieurs sites de la forêt du Morgan Arboretum, où les espèces arborescentes dominantes sont l'érable à sucre, le tilleul et le hêtre. La cueillette des vers de terre sur sept types de sols (loam, loam calcaire, sable, loam argileux, argile, loam sableux et sable loameux) nous a permis de trouver les espèces suivantes: *Aporrectodea turgida*, *Lumbricus terrestris*, *Eisenia rosea*, *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea longa*, *Dendrobaena octaedra* et *Allolobophora chlorotica*. Nous avons observé une association groupant un maximum de cinq espèces dans un même site. *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea turgida* ont été trouvés dans une même station 62 fois sur cent et étaient associés à *Aporrectodea longa* dans 18 cas. Le pH moyen de chaque horizon de sol varie entre 3,7 et 6,5 et, dans 85 pourcent des cas, entre 5,1 et 6,3. Les plus faibles prélèvements de vers de terre proviennent des sols les plus pauvres en éléments nutritifs, soit le loam sableux, le loam argileux et le sable.

Abstract

An earthworm survey was conducted in the forest soils of the Morgan Arboretum, whose predominant tree species are sugar maple, basswood, and beech. Using a chemical extractant on seven soil types — loam, calcareous loam, sand, clay loam, clay, sandy loam and loamy sand — we collected the following species: *Aporrectodea turgida*, *Lumbricus terrestris*, *Eisenia rosea*, *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea longa*, *Dendrobaena octaedra*, and *Allolobophora chlorotica*. We found an association grouping a maximum of five species on the same site. *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea turgida* were found 62% of the time on the same site, and they were collected with *Aporrectodea longa* 18% of the time. The mean pH of each soil horizon varied between 3,7 and 6,5, of which 85% were between 5,1 and 6,3. The smallest number of earthworms were collected on soils lowest in nutrients such as sandy loam, clay loam, and sand.

Introduction

Plusieurs facteurs écologiques influencent la distribution des vers de terre dans les sols forestiers, parce que la pauvreté en matière organique et en éléments nutritifs n'assure pas un milieu favorable à leur croissance et à leur survie (Lee, 1959). D'après certaines études antérieures, les facteurs les plus importants de leur milieu écologique sont l'acidité du sol (Wherry, 1924; Olson, 1928; Evans et Guild, 1947; Satchell, 1967),

la profondeur et la texture du sol (Guild, 1948), l'influence du goût et des associations végétales (Edwards et Heath, 1963; Heath et al., 1966; Maldague et Couture, 1971; Reynolds, 1972, 1973), ainsi que certaines caractéristiques de la physiographie (Guild, 1952).

Dans les sols forestiers du Québec, un premier échantillonnage des vers de terre a été réalisé par Reynolds en Gaspésie (1975a), à l'île d'Orléans (1975b), aux îles de

¹ Ce projet de recherches a été financé par une bourse (Mc A 67-302) provenant du Conseil des recherches en agriculture du Québec.

la Madeleine (1975c) et sur la rive sud du Saint-Laurent (1976a). Reynolds (1976a) a présenté une clé d'identification des Lombricidés du Québec.

La présente étude traite de la distribution des vers de terre dans plusieurs sites de la forêt du Morgan Arboretum du Collège Macdonald à Sainte-Anne-de-Bellevue, en fonction du type de sol, de sa texture, de ses propriétés chimiques superficielles et de son acidité, ainsi que des espèces d'arbres.

Description du secteur

Le secteur étudié est situé à la pointe ouest de l'île de Montréal à une quarantaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Montréal. Sa superficie est de 181 hectares et son altitude maximale de 46 mètres. Le terrain est presque plat, légèrement accidenté à cause de la présence de dépôts glaciaires. Une partie de la région a déjà servi à la culture mais est actuellement abandonnée à cause de son sol pierreux et mal drainé.

Aujourd'hui l'Arboretum sert de centre d'études et de station de démonstration sur la gestion des boisés. Le substrat, comme dans plusieurs régions de la plaine du Saint-Laurent, est d'origine glaciaire avec des dépôts argileux de surface qui remontent à la mer Champlain. L'argile est couverte en plusieurs endroits de dépôts de sable fin dont la profondeur varie entre 30 et 300 cm. Le degré d'humidité varie d'excessif dans les sables profonds à nul dans les minces couches de sable recouvrant les argiles.

FLORE ARBORESCENTE ET SOLS DU SECTEUR ÉTUDIÉ

Une section de 128 hectares est couverte d'une végétation spontanée âgée de 60 à 100 ans et comprenant 38 essences forestières; on y trouve un secteur de bois francs, un secteur de bois mous et un secteur de forêt mixte. Une section de 33 hectares a été reboisée depuis 15 à 20 ans et une autre de 20 hectares est occupée par l'érable à sucre (60 à 100 ans).

Le secteur de bois francs comprend le hêtre (*Fagus grandifolia* Ehrh.), l'érable rouge (*Acer rubrum* L.), l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.), le bouleau gris (*Betula alleghaniensis* Britton) et le frêne blanc (*Fraxinus americana* L.). Les espèces prédominantes sont le hêtre, l'érable rouge et l'érable à sucre.

Le secteur de bois mous comprend la pruche de l'est [*Tsuga canadensis* (L.) Carr.], le tilleul (*Tilia americana* L.) et le pin blanc (*Pinus strobus* L.). L'espèce dominante est le tilleul.

Le site de forêt mixte comprend la pruche de l'est, l'érable rouge, le hêtre et le pin blanc. L'érable rouge est l'espèce dominante.

La plantation du reboisement comprend de l'épinette noire [*Picea mariana* (Mill.) BSP], de l'épinette blanche [*Picea glauca* (Moench) Voss], de l'épinette de Norvège [*Picea abies* (L.) Karst], du pin blanc, de l'érable rouge, du mélèze [*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch], du cèdre blanc (*Thuja occidentalis* L.), du bouleau blanc et de l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.).

Les sols de l'Arboretum appartiennent à sept types et dix séries de sols différents, qui ont été décrits par Lajoie (1960): le loam calcaire mince (série Farmington), les sables (séries Uplands et Sainte-Sophie), le loam argileux (série Châteauguay), les argiles (séries Sainte-Rosalie et Dalhousie), le loam sableux (série Courval), les loams (séries Chicot et Saint-Bernard) et le sable loameux (série Saint-Amable).

Méthodologie

La cueillette des vers de terre se pratique suivant diverses méthodes: stimulation par des décharges électriques (Doëksen, 1950), bêchage et triage à la main (Satchell, 1955; Bouché, 1972), stimulation mécanique (Vail, 1972) et extraction chimique par l'utilisation du formol (Raw, 1959) ou du permanganate de potassium (KMnO_4) (Evans et Guild, 1947). Selon Reynolds (1976b), l'extraction chimique agit rapidement, permet un échantillonnage de plusieurs sites en peu de temps et suffit pour révéler les espèces présentes. L'arrosage d'une solution de 2 g de permanganate de potassium dans 4 litres d'eau sur des quadrats de 94 cm² s'avéra une méthode efficace pour la récolte des Lombricidés actifs durant les mois de septembre et octobre. Les Lombricidés qui se présentaient à la surface, dans les 10 minutes suivant l'application de la solution, étaient ramassés et fixés dans une solution d'alcool puis conservés dans une solution de formol pour le durcissement des tissus (Gates, 1956), plutôt que dans une solution d'acide chromique selon la méthode de La Rue (1924) pour des préparations séchées.

Des échantillons de sol des horizons B, C_I et C_{II}, d'après le système canadien de classification des sols (Agriculture Canada, 1974), furent prélevés dans les sites adjacents aux endroits arrosés par la solution et furent analysés. Le pH fut déterminé d'après la méthode de Schofield et Taylor (1955). L'azote nitrique (Black, 1965) et le potassium échangeable (Smith et Matthews, 1957) furent extraits avec une solution de NH₄OAc. Le phosphore disponible (Bray et Kurtz, 1945) fut extrait avec une solution de NH₄F. Ces composés furent dosés avec un *Auto Analyzer* de Technicon (Technicon Instrument Corporation, Chauncey, New York). Le pourcentage de matière organique a été établi en chauffant le sol au four à 375°C pendant 16 heures (Ball, 1964). L'identification des vers de terre fut effectuée par les auteurs d'après une clé présentée par Causey (1952) et des conseils de Gates (comm. pers. en 1968).

Résultats

Le tableau I présente la distribution des sept espèces de vers de terre suivant la texture et la série de sols. En premier lieu, on note que trois espèces (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea turgida* et *Eisenia rosea*) se retrouvent dans toutes les textures et les séries de sols. D'autre part on ne trouve *Allolobophora chlorotica* que sur les loams (Chicot et Saint-Bernard) et les argiles (Sainte-Rosalie et Dalhousie), *Octolasion tyr-*

taeum sur le loam calcaire (Farmington) et les argiles (Sainte-Rosalie et Saint-Bernard) et *Dendrobaena octaedra* sur tous les sols sauf le loam argileux (Châteauguay). Quant à *Aporrectodea longa*, on l'a rencontré partout sauf sur les sables et loams sableux. L'importance des espèces, selon le nombre total d'individus recueillis, est la suivante: *Ap. turgida* > *L. terrestris* > *E. rosea* > *O. tyrtaeum* > *Ap. longa* > *D. octaedra* > *Al. chlorotica*. On retrouve des vers de terre sans clitellum 72 fois sur cent en moyenne (tableau II).

Les résultats des analyses chimiques (tableau III) montrent que les sols échantillonnés sont relativement pauvres en matière organique et en éléments nutritifs, surtout les loams sableux, les loams argileux et les sables. Il est intéressant de noter que les plus faibles prélèvements de vers de terre ont eu lieu sur ces sols (tableau I), ce qui suggère que les vers de terre préfèrent des sols plus riches en éléments nutritifs que ceux-ci.

Le tableau IV présente la distribution des espèces suivant la flore arborescente, dans les sites de végétation spontanée et dans la plantation de reboisement. On doit noter qu'on trouve les sept espèces de vers de terre sur les sites d'érable à sucre avec tilleul (végétation spontanée) et cinq espèces sur les sites de cèdre (plantation de reboisement).

TABLEAU I

Nombre de vers de terre récoltés, selon la texture du sol

Texture du sol	Espèces							Total
	<i>Ap. turgida</i>	<i>L. terrestris</i>	<i>E. rosea</i>	<i>O. tyrtaeum</i>	<i>Ap. longa</i>	<i>D. octaedra</i>	<i>Al. chlorotica</i>	
Loam	164	121	78	—	31	1	5	400
Argile	130	74	39	39	2	10	15	309
Sable loameux	67	27	2	—	9	7	—	112
Loam calcaire	17	9	25	36	8	2	—	97
Loam sableux	29	13	2	—	—	2	—	46
Loam argileux	24	14	1	—	3	—	—	42
Sable	24	9	6	—	—	2	—	41
Total	455	267	153	75	53	24	20	1047

TABLEAU II

Nombre et pourcentage de vers de terre sans et avec clitellum

Espèce	Sans clitellum		Avec clitellum	
	Nombre	(%)	Nombre	(%)
<i>Ap. turgida</i>	330	(72,5)	125	(27,5)
<i>L. terrestris</i>	231	(86,5)	36	(13,5)
<i>E. rosea</i>	89	(58,2)	64	(41,8)
<i>O. tyrtaeum</i>	42	(56,0)	33	(44,0)
<i>Ap. longa</i>	40	(75,5)	13	(24,5)
<i>D. octaedra</i>	14	(58,3)	10	(41,7)
<i>Al. chlorotica</i>	5	(25,0)	15	(75,0)

TABLEAU III

Moyenne des propriétés chimiques à chaque horizon de sol, suivant la texture.

Texture	Horizon	pH	Azote nitrique (ppm)	Phosphore disponible (ppm)	Potassium échangeable (ppm)	Matière organique (%)
Loam calcaire	B	6,2	1	4	17	7
	Ci	6,2	3	5	9	3
	Cii	6,5	1	11	10	4
	\bar{x}	6,3	2	7	12	5
Sable	B	3,7	1	4	17	9
	Ci	4,5	3	3	3	7
	Cii	5,0	2	11	7	2
	\bar{x}	4,4	2	6	9	6
Loam argileux	B	5,5	1	5	17	10
	Ci	5,6	1	5	9	5
	Cii	6,4	2	13	13	3
	\bar{x}	5,8	1	8	13	6
Argile	B	5,2	4	52	154	16
	Ci	5,0	7	45	99	5
	Cii	5,6	3	94	185	4
	\bar{x}	5,2	5	64	146	9
Loam	B	6,1	4	61	169	10
	Ci	6,1	12	60	68	4
	Cii	6,3	5	128	121	4
	\bar{x}	6,2	7	83	119	6
Loam sableux	B	4,7	9	32	115	8
	Ci	4,9	3	24	92	3
	Cii	6,2	3	114	176	3
	\bar{x}	5,3	5	57	94	4
Sable loameux	B	4,0	7	53	161	15
	Ci	4,6	25	29	45	7
	Cii	5,2	15	102	66	2
	\bar{x}	4,6	16	61	91	8

TABLEAU IV

Distribution des vers de terre suivant la flore arborescente

Espèces	Végétation spontanée	Plantation de reboisement
<i>Ap. turgida</i> , <i>L. terrestris</i>	Érable rouge/érable à sucre avec tilleul	Épinette noire et blanche Pin blanc et épinette Norvège Mélèze et cèdre Bouleau blanc Cèdre Hêtre Épinette rouge
<i>Ap. longa</i>	Érable à sucre avec tilleul ou hêtre Érable rouge avec hêtre ou bouleau gris Frêne blanc et tilleul Hêtre	Cèdre Épinette rouge
<i>D. octaedra</i>	Érable à sucre avec tilleul Érable rouge avec caryer, tilleul ou bouleau gris Pruche	Épinette noire et blanche Bouleau blanc
<i>E. rosea</i>	Érable à sucre avec tilleul	Bouleau blanc Cèdre Épinette rouge
<i>O. tyrtaeum</i>	Érable à sucre avec tilleul ou hêtre	
<i>Al. chlorotica</i>	Érable à sucre avec tilleul	Cèdre

Discussion

Guild (1951) a rapporté l'association de plusieurs espèces de vers de terre, groupant souvent 7 ou 8 espèces avec un maximum de 10 et un minimum de quatre. Pour notre part, nous avons observé une association groupant un maximum de 5 espèces dans un même site soit: *L. terrestris*, *Ap. turgida*, *Ap. longa*, *E. rosea* et *D. octaedra* ou *O. tyrtaeum*. *L. terrestris* et *Ap. turgida* ont été observés dans un même site 62 fois sur cent et associés avec *Ap. longa* dans 18 cas. Nous avons trouvé un ordre décroissant du nombre d'espèces suivant la texture du sol comme suit: loam > argile > sable loameux > loam calcaire > loam sableux > loam argileux > sable.

Grâce à des inventaires faits selon la méthode au permanganate, nous avons trouvé que les espèces de grande taille, comme *L. terrestris* et *Ap. longa*, avaient pénétré à près d'un mètre dans le sous-sol. Nous avons aussi noté que, sur les sites avec une population dense de vers de terre, on ne trouvait au printemps aucune feuille morte de l'automne précédent en surface du sol.

Ap. turgida, *E. rosea*, *O. tyrtaeum* et *Al. chlorotica* ont été cueillis dans la couche minérale supérieure, alors que *D. octaedra* était localisé dans les horizons superficiels riches en matière organique. Nous suggérons que cet horizon riche en matière organique est le résultat de l'activité des vers de terre, qui sont responsables du mélange de la litière avec le sol, ce qui amène la formation de l'humus que décrit Kevan (1968).

Certaines études (Laverack, 1963; Leger et Millette, 1977) ont montré qu'un sol mélangé par les vers de terre montre une acidité moindre. Dans le cas présent on a trouvé un pH moyen de chaque horizon variant entre 3,7 et 6,5 dont 85 fois sur cent entre 5,1 et 6,3. Plusieurs chercheurs (Olson, 1928; Evans et Guild, 1947; Satchell, 1967; Reynolds, 1973) ont constaté qu'on trouve la plupart des vers de terre dans un sol avec un tel pH.

On a constaté que les sites préférés par les vers de terre sont ceux où croissent l'érable à sucre et le tilleul; cette même observation a été rapportée par plusieurs chercheurs (Mangold, 1951; Edwards et

Heath, 1963; Heath *et al.*, 1966; Reynolds, 1972). Les sites où l'on trouve de l'épinette et du mélèze sont moins recherchés, mais on a trouvé que les sites des plantations de reboisement sont capables de supporter une population de quelques espèces de vers de terre, même si cette végétation contribue à rendre le sol acide (Edwards et Heath, 1963).

Conclusion

Au cours d'un inventaire fait grâce à la méthode au permanganate, on a trouvé des espèces de vers de terre dans la couche riche en matière organique (*D. octaedra*), la couche minérale supérieure (*Ap. turgida* et *Al. chlorotica*) et la couche minérale inférieure (*L. terrestris*, *Ap. longa*, *O. tyrtæum* et *Ap. turgida*). Nous avons observé une association groupant jusqu'à un maximum de cinq espèces dans un même site. L'espèce recueillie en plus grand nombre est *Ap. turgida* et la plus rare, *Al. chlorotica*. La seule texture de sol sur laquelle on a trouvé les sept espèces de vers de terre est l'argile (séries Sainte-Rosalie et Dalhousie), alors que le plus grand nombre de vers de terre a été trouvé sur le loam (séries Chicot et Saint-Bernard).

Ap. turgida et *L. terrestris* sont les deux espèces de vers de terre que l'on a trouvées sous le plus grand nombre d'espèces végétales. Les espèces préférées sont l'érable à sucre et le tilleul, tandis que les moins recherchées sont l'épinette et le mélèze. L'inventaire des vers de terre dans les sols boisés du Morgan Arboretum suivant la texture des sols et les différentes espèces d'arbres montre l'existence d'un milieu optimum pour la croissance et la survie de ces espèces.

Références

- AGRICULTURE CANADA, 1974. The system of soil classification for Canada. Revised ed. Queen's Printer, Ottawa.
- BALL, D. F., 1964. Loss on ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. — *J. Soil Sci.*, 15: 84-92.
- BOUCHÉ, M.B., 1972. Lombriciens de France, écologie et systématique. — Paris, Inst. natl. Rech. agron., 671 p.
- BLACK, C.A. (Ed.), 1965. Methods of soil analysis, Part 1. — Am. Soc. Agron., Inc., Wisconsin, p. 1162-1170.
- BRAY, R.H. and L. T. KURTZ, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. — *Soil Sci.*, 59: 39-45.
- CAUSEY, D., 1952. The earthworms of Arkansas, p. 43-56. *In*: Rodale, Robert (ed.), The challenge of earthworm research. — Soil Hlth Fdn, Emmaus, Penn.
- DOËKSEN, J., 1950. An electrical method of sampling soil for earthworms. — *Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci.*, p. 129-131.
- EDWARDS, C.A. and G. W. HEATH, 1963. The role of soil animals on break-down of leaf materials, p. 76-84. *In*: Doëksen, J. and J. Van der Drift (eds), Soil organisms. North Holland Publ. Co., Amsterdam.
- EVANS, A.C. and W. J. McL. GUILD, 1947. Studies on the relationship between earthworms and soil fertility I. Biological studies in the field. — *Ann. appl. Biol.*, 34 (3): 307-330.
- GATES, J. E., 1956. Notes on American earthworms of the family Lumbricidae, III-VII. — *Mus. Comp. Zool. Bull.*, No. 115(1), 46 p.
- GUILD, W. J. MCL., 1948. Studies on the relationship between earthworms and soil fertility. III. The effect of soil type on the structure of earthworm populations. — *Ann. appl. Biol.*, 35 (2): 181-192.
- GUILD, W. J. MCL., 1951. The distribution and population density of earthworms (Lumbricidae) in Scottish pasture fields. — *J. Anim. Ecol.*, 20 (1): 88-97.
- GUILD, W.J. MCL., 1952. The Lumbricidae in upland areas. II. Population variation on hill pasture. — *Ann. nat. Hist. Mag.*, Ser. No. 12, 15: 286-292.
- HEATH, G.W., M.K. ARNOLD and C.A. EDWARDS, 1966. Studies in leaf litter breakdown. I. Break-down rates of leaves of different species. — *Pedobiologia*, 6: 1-12.
- KEVAN, D.K. McE., 1968. Soil fauna and humus formation. — *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.*, 2: 1-10.
- LAJOIE, R.G., 1960. Les sols des comtés d'Argenteuil, Deux-Montagnes et Terrebonne. — Ministère de l'Agriculture du Québec et le Collège Macdonald, Université McGill, 131 p.
- LA RUE, G.L., 1924. Dried preparations of earthworms. — *Science*, 59: 65-66.
- LAVERACK, M.S., 1963. The physiology of earthworms. — Pergamon Press, London, 206 p.
- LEE, K. E., 1959. The earthworm fauna of New Zealand. — *N.Z. Dep. Sci. Indust. Res. Bull.* No. 30, 486 p.
- LÉGER, R.G. and G.J.F. MILLETTE, 1977. Properties of four Québec soils after incubation with five species of earthworms. — *Can. J. Soil Sci.*, 57: 165-172.
- MALDAGUE, M. et G. COUTURE, 1971. Utilisation de litières radioactives par *Lumbricus ter-*

- restris*. — IV. Coll. Pedobiol., I.N.R.A., Paris, p. 147-154.
- MANGOLD, O., 1951. Experimente zur Analyse des chemischen Sinns des Regenwurms. I. Methode und Verhalten zu Blättern von Pflanzen. — Zool. Jahrb. Abt. Allgem. Zool. Physiol. Tiere, 62: 441-512.
- OLSON, H. W., 1928. The earthworms of Ohio. — Bull. Ohio biol. Surv. 4 (2), 17: 47-90.
- RAW, F., 1959. Estimating earthworm populations by using formalin. — Nature, 184: 1661-1662.
- REYNOLDS, J. W., 1972. The relationship of earthworm (Oligochaeta: Acanthodrilidae and Lumbricidae) distribution and biomass in six heterogeneous woodlot sites in Tippecanoe County, Indiana. — J. Tenn. Acad. Sci., 47 (2): 63-67.
- REYNOLDS, J. W., 1973. Earthworm (Annelida, Oligochaeta) ecology and systematics, p. 95-120. In: D. L. Dindal (ed.), Proc. 1st Soil Microcommunities Conf., CONF-711076, Springfield: U.S.A.E.C., Nat. Tech. Inform. Serv.
- REYNOLDS, J. W., 1975a. Les Lombricidés (Oligochaeta) de la Gaspésie, Québec. — Megadrilogica, 2 (4): 4-9.
- REYNOLDS, J. W., 1975b. Les Lombricidés (Oligochaeta) de l'île d'Orléans, Québec. — Megadrilogica, 2 (5): 8-11.
- REYNOLDS, J. W., 1975c. Les Lombricidés (Oligochaeta) des Îles-de-la-Madeleine. — Megadrilogica 2(3): 1-8.
- REYNOLDS, J. W., 1976a. Catalogue et clé d'identification des Lombricidés du Québec. — Naturaliste can., 103(1): 21-27.
- REYNOLDS, J. W., 1976b. Un aperçu des vers de terre dans les forêts nord-américaines, leurs activités et leur répartition. — Megadrilogica 2(9): 1-11.
- SATCHELL, J. E., 1955. Some aspects of earthworm ecology, p. 180-201. In: D. K. McE. Kevan (ed.), Soil Zoology. Butterworths, London.
- SATCHELL, J. E. 1967. Lumbricidae, p. 259-322. In: A Burgess and F. Raw (eds.), Soil biology. Academic Press, London.
- SCHOFIELD, R. K. and A. W. TAYLOR, 1955. The measurement of soil pH. — Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19: 164-167.
- SMITH, J. A. and B. C. MATTHEWS, 1957. Release of potassium by 18 Ontario soils during continuous cropping in the greenhouse. — Can. J. Soil Sci., 37: 1-10.
- VAIL, V. A., 1972. Natural history and reproduction in *Diplocardia mississippiensis* (Oligochaeta). — Contr. N. Am. Earthworms (Annelida) No. 1, Bull. Tall Timbers Res. Sta., No. 11, 39 p.
- WHERRY, E. T., 1924. Soil acidity preference of earthworms. — Ecology, 5:309.

CROISSANCE ET RÉGIME ALIMENTAIRE DES MÉNOMINIS RONDS *PROSOPIUM CYLINDRACEUM* (PALLAS) DU TERRITOIRE DE LA BAIE JAMES

Étienne MAGNIN et Anne-Marie CLÉMENT

Département des Sciences biologiques, Université de Montréal
C.P. 6128, Montréal, H3C 3J7

Résumé

La détermination de l'âge a été faite par l'examen des écailles de 598 spécimens de *Prosopium cylindraceum*, 93 d'entre eux provenant du bassin inférieur de la Grande rivière de la Baleine, 367 du bassin moyen et inférieur de La Grande Rivière et 138 des bassins supérieurs de ces deux rivières et de la Caniapiscou. La croissance en longueur et en masse est très faible dans la zone de la Caniapiscou, un peu plus rapide dans La Grande Rivière et plus rapide encore dans la Grande rivière de la Baleine: à 10 ans, les longueurs à la fourche et les masses sont respectivement dans les trois milieux 275 mm et 206 g, 325 mm et 355 g, 344 mm et 421 g. Les ménominis ronds de l'estuaire de La Grande Rivière mangent surtout des larves d'insectes, Trichoptères et Diptères Chironomides principalement.

Abstract

Ages were determined by examination of scales from 598 specimens of *Prosopium cylindraceum*: 93 from the lower part of the Grande rivière de la Baleine, 367 from the middle and lower reaches of the La Grande Rivière and 138 from the upper parts of these two rivers and the adjacent Caniapiscou River. Growth in fork length and weight is very slow in the Caniapiscou area, a little faster in La Grande Rivière and fastest in the Grande rivière de la Baleine: at age 10, 275 mm (206 g), 325 mm (355 g) and 344 mm (421 g) respectively. Round whitefish from the La Grande Rivière estuary fed mainly on insect larvae, principally those of Trichoptera and Diptera (Chironomidae).

Introduction

Le ménomini rond *Prosopium cylindraceum* (Pallas) est très répandu dans tout l'est canadien depuis le bassin des Grands Lacs (sauf le lac Érié) et le Nouveau-Brunswick au sud jusqu'à la baie d'Ungava au nord, sauf quelques rivières du sud de la baie James (Scott et Crossman, 1974; Magnin, 1977). Sa croissance a été étudiée dans les Grands Lacs (Bailey, 1963; Mraz, 1964), dans un lac du New-Hampshire (Normandeau, 1969) et dans les rivières de l'Ungava (Mackay et Power, 1968; Jessop, 1972). Nous avons pensé qu'il serait intéressant d'étudier la croissance de ce poisson dans les bassins hydrographiques de la Grande rivière de la Baleine, de La Grande Rivière et de la Caniapiscou où les ménominis sont très nombreux (Magnin, 1977) et jouent un rôle important dans l'alimentation des touladis (Magnin *et al.*, 1978). Nous y avons ajouté l'étude du régime alimentaire peu étudié, à

notre connaissance, chez les ménominis de l'est canadien.

Matériel et méthodes

De 1973 à 1977, 935 individus ont été récoltés sur le territoire de la Baie James, dont 503 dans le bassin inférieur de La Grande Rivière, 337 dans le bassin de la Caniapiscou et 95 dans le bassin de la Grande rivière de la Baleine (fig. 1). Les individus qui ont été pris dans les bassins supérieurs de La Grande Rivière et de la Grande rivière de la Baleine ont été réunis à ceux de la Caniapiscou à cause de la similitude de ces trois milieux (altitude, qualité de l'eau). Tous les individus de la Grande rivière de la Baleine et 79% des individus de La Grande Rivière ont été pris au filet maillant. Dans la Caniapiscou, par contre, la majorité des individus (69%) ont été pris à la seine. C'est ce qui explique les différences entre les distribu-

tions de fréquence des longueurs des individus qui ont été mesurés dans les trois milieux (fig. 2).

Nous avons utilisé la longueur à la fourche pour décrire la taille des poissons, comme l'ont fait la plupart des auteurs ayant étudié le ménomini. Nous avons cependant estimé l'équation de régression fonctionnelle (Ricker, 1973), exprimant la longueur totale LT en fonction de la longueur à la fourche LF

$$LT = -0,451 + 1,087 LF \quad (r = 0,9998)$$

Pour les transformations éventuelles de la longueur standard en longueur à la fourche, nous avons utilisé la formule donnée par Carlander (1969).

L'âge des individus a d'abord été lu sur les écailles et sur les otolithes de 69 individus. Aucune différence n'a été trouvée sur 46 individus, soit 67%. Sur 18 (26%) il y avait une différence d'un an, sur 2 (3%) une différence de 2 ans et sur 3 (4%) une différence de 3 ans. D'autre part, l'âge était supérieur

soit sur les otolithes soit sur les écailles. Sur les ménominis de l'Ungava, Jessop (1972) avait observé que 97% des lectures d'écailles et d'otolithes concordait et que l'âge scalaire ne différait de l'âge otolithique que chez les poissons âgés de plus de 8 ans. Nous avons d'autre part remarqué que la lecture de l'âge aurait été plus difficile sur un grand nombre d'otolithes. Nous avons donc décidé d'utiliser les écailles uniquement. L'examen de jeunes individus du groupe d'âge 0 nous a permis de préciser l'emplacement du premier annulus sur les écailles. Nous verrons d'autre part que les résultats obtenus par cette méthode sont confirmés par ceux obtenus par l'examen des histogrammes de fréquence des longueurs.

Nous avons calculé, à partir d'une régression fonctionnelle (Ricker, 1973), l'équation donnant le logarithme de la longueur à la fourche LF en fonction du rayon R de l'écaille grossie 20 fois:

$$\log LF = 1,065 + 0,747 \log R \quad (r = 0,987)$$

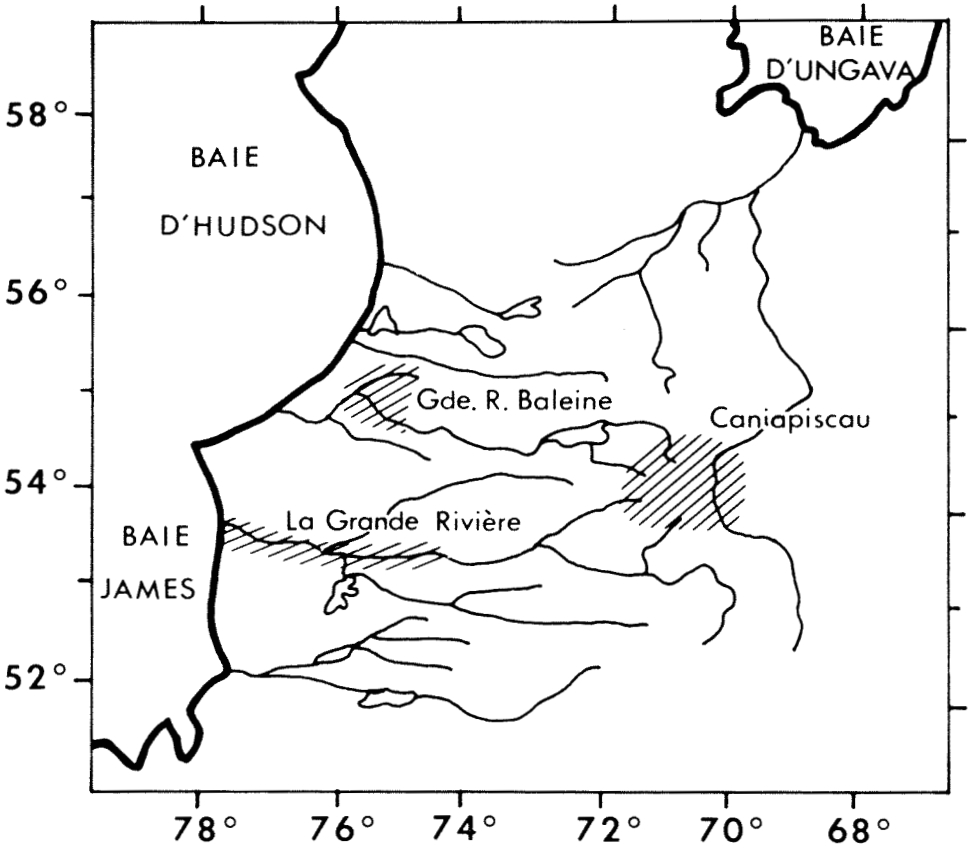


Figure 1. Carte montrant les trois principales zones où les ménominis ronds ont été pêchés.

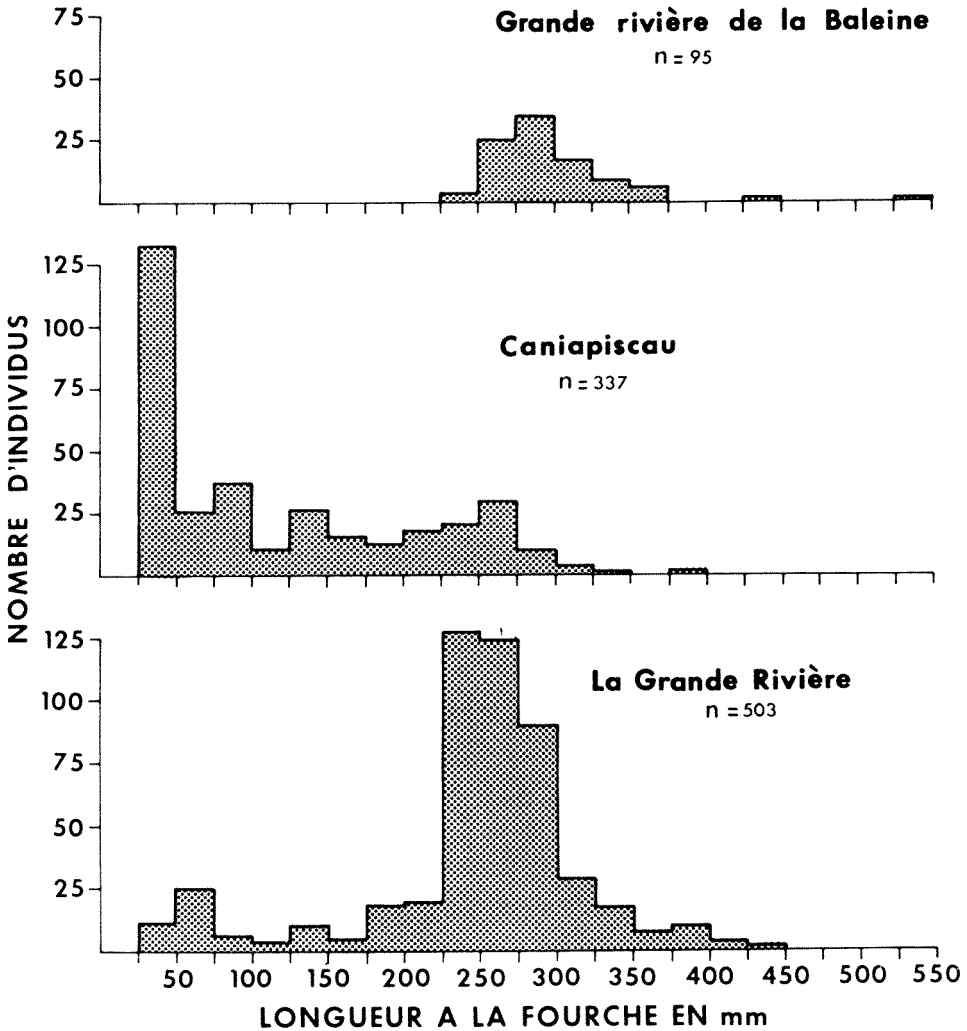


Figure 2. Histogrammes de fréquence des longueurs à la fourche des ménominis ronds dans les trois zones étudiées.

Cette équation, estimée à partir de 756 valeurs paires, est en effet allométrique, l'intervalle de confiance de la pente 0,747 étant en effet 0,730-0,763 pour un seuil de probabilité de 0,05 (Ricker, 1975). Elle nous a permis de rétrocalculer la longueur qu'avaient les individus lors de la formation des divers annuli. Les longueurs obtenues par la sommation des accroissements annuels moyens nous ont aussi permis d'établir les équations de von Bertalanffy.

Les relations donnant le logarithme de la masse en fonction du logarithme de la longueur ont été calculées pour les ménominis de La Grande Rivière (456 individus), de la

Grande rivière de la Baleine (93 individus) et de la Caniapiscou (42 individus), après avoir vérifié qu'elles n'étaient pas statistiquement différentes pour les mâles et les femelles. Ces trois équations ont ensuite été testées par une analyse de covariance pour vérifier si elles étaient statistiquement différentes. Elles nous ont aussi permis de déduire la masse des ménominis lors de la formation des divers annuli à partir des longueurs calculées par l'équation de von Bertalanffy.

Le régime alimentaire n'a pu être étudié que sur 89 individus provenant du bassin inférieur de La Grande Rivière. Ceux-ci

avaient été pêchés entre le mois d'août et le mois d'octobre, la plupart (70%) entre le 14 et le 30 septembre. Leur taille était en général comprise entre 200 et 300 mm, quelques-uns seulement ayant plus de 300 mm. L'identification des proies a été faite à la famille pour les deux principaux groupes de proies (Trichoptères et Diptères) et à l'ordre pour les autres. L'interprétation des contenus stomacaux a été faite suivant deux méthodes: la méthode d'occurrence des fréquences et la méthode des points proposée par Hynes (1950).

Résultats

CROISSANCE EN LONGUEUR

Nous avons calculé séparément les longueurs moyennes à la fourche des mâles et des femelles pour chaque groupe d'âge. Un test de «t» de Student nous ayant démontré qu'il n'y avait pas de différences significatives de longueur pour toutes les classes d'âge, nous avons donc groupé les mâles et les femelles dans les trois bassins hydrographiques (tableau I). Si l'on tient compte du fait que les poissons ont effectué une partie de leur croissance annuelle au moment où ils ont été pêchés, on remarque d'abord qu'il y a une bonne correspondance entre les longueurs observées à la capture et les longueurs rétrocalculées à partir des annuli de croissance sur les écailles. Sur l'histogramme de fréquence des tailles des ménominis

de la Caniapiscau, on remarque que les trois premiers modes se trouvent aux classes de longueurs 25-50 mm, 75-100 mm et 125-150 mm. Or, ces trois modes correspondent bien, d'après le tableau I, aux longueurs moyennes rétrocalculées aux groupes d'âge I (68 mm), II (114 mm) et III (154 mm). Cela confirme la validité des lectures d'âge que nous avons faites sur les écailles.

Nous pouvons comparer maintenant la croissance des ménominis dans les trois grands bassins hydrographiques. Nous voyons tout d'abord que les ménominis de la Caniapiscau grandissent plus lentement que ceux des deux autres bassins. Ce sont les ménominis de la Grande rivière de la Baleine qui semblent avoir la meilleure croissance, surtout à partir de 5 ans. Pour atteindre la taille de 300 mm, les ménominis de la Grande rivière de la Baleine mettent environ 7 ans et ceux du bassin inférieur de La Grande Rivière, 8 ans. Quant à ceux de la Caniapiscau, à 10 ans, ils n'ont encore que 275 mm.

Les équations de von Bertalanffy décrivent assez bien la croissance en longueur à la fourche des ménominis ronds dans les trois bassins:

$$LF = 403,38 [1 - e^{-0.1948(t-0.0087)}]$$

dans la Grande rivière de la Baleine

$$LF = 370,03 [1 - e^{-0.2110(t+0.0051)}]$$

dans le bassin inférieur de La Grande Rivière

TABLEAU I

Croissance en longueur à la fourche (LF en mm) et en masse (M en g) des ménominis ronds du territoire de la Baie James — N, nombre d'individus

Groupe d'âge	Grande rivière de la Baleine					La Grande Rivière					Caniapiscau				
	v. observées		v. calculées			v. observées		v. calculées			v. observées		v. calculées		
	N	LF	N	LF	M	N	LF	N	LF	M	N	LF	N	LF	M
1	—	—	93	70	2	19	97	367	67	3	48	87	138	68	2
2	—	—	93	128	17	8	149	348	126	19	28	131	90	114	11
3	—	—	93	179	49	33	214	340	177	51	16	157	62	154	29
4	5	267	93	220	94	68	243	307	216	93	19	197	46	185	53
5	32	276	88	251	148	89	255	239	242	140	10	228	27	210	81
6	22	288	56	277	206	61	268	150	263	190	11	246	17	229	110
7	16	316	34	300	265	33	291	80	283	237	1	260	6	246	138
8	9	326	18	317	322	26	304	56	299	281	4	288	5	259	163
9	3	334	9	333	374	15	316	30	314	321	—	—	1	267	186
10	—	—	6	344	421	11	316	15	325	355	1	220	1	275	206
11	4	350	6	358	463	3	370	4	338	385	—	—	—	—	—
12	2	351	2	369	499	1	390	1	357	411	—	—	—	—	—

$$LF = 368,65 [1 - e^{-0,2225(t+0,1019)}]$$

dans la Caniapiscou. On obtiendrait respectivement dans ces trois milieux les longueurs de 71, 71 et 67 mm à 1 an, 251, 241 et 209 mm à 5 ans, 346, 325 et 276 mm à 10 ans.

CROISSANCE EN MASSE

Les équations donnant le logarithme de la masse M en fonction du logarithme de la longueur à la fourche sont les suivantes :

$$\log M = -5,6472 + 3,2581 \log LF$$

pour les ménominis ronds de la Grande rivière de la Baleine ($r = 0,965$);

$$\log M = -5,2692 + 3,1130 \log LF$$

pour ceux du bassin inférieur de La Grande Rivière ($r = 0,992$); et

$$\log M = -5,9460 + 3,3840 \log LF$$

pour ceux de la Caniapiscou ($r = 0,984$).

La deuxième équation est significativement différente des deux autres qui ne diffèrent pas significativement entre elles. Pour une taille égale, d'autre part, les ménominis ronds de La Grande Rivière ont une masse plus forte que ceux des deux autres régions lorsqu'ils sont petits mais plus faible lorsqu'ils deviennent grands.

Les masses des ménominis ronds lors de la formation des divers annuli évaluées à partir de ces équations sont données dans le tableau I. Nous voyons tout d'abord que la croissance en masse est plus faible dans la Caniapiscou que dans les deux autres bassins. Dans le bassin inférieur de La Grande Rivière, les ménominis ont une croissance en masse supérieure à celle des ménominis de la Grande rivière de la Baleine jusqu'à 5 ans mais elle est ensuite inférieure.

Les équations de von Bertalanffy

$$M = 695,60 [1 - e^{-0,1948(t-0,0087)}] \quad 3, 2581$$

$$M = 531,22 [1 - e^{-0,2110(t+0,0051)}] \quad 3, 1130$$

$$M = 300,79 [1 - e^{-0,2225(t+0,1019)}] \quad 3, 3840$$

permettent de décrire assez bien la croissance en masse dans les trois milieux : la Grande rivière de la Baleine, La Grande Rivière et la Caniapiscou. Les masses seraient respectivement dans les trois milieux 2,3 et 2 g à 1 an, 148, 140 et 81 g à 5 ans, 421, 355 et 206 g à 10 ans.

RÉGIME ALIMENTAIRE

Les deux dernières colonnes du tableau II montrent que 94% des estomacs de méno-

minis de la région de Fort Georges contiennent des larves d'insectes, 30% des mollusques et 8% seulement des poissons et que l'importance volumétrique de ces trois grandes catégories de proies est respectivement 83, 6 et 4%. Les larves d'insectes jouent donc un rôle de premier plan dans l'alimentation des ménominis et parmi elles surtout les larves de Trichoptères (63% en volume) et les larves de Chironomides (17% en volume).

Le tableau II montre aussi que le régime alimentaire des ménominis varie avec les stations. A FG025, on retrouve plus d'une fois sur deux des larves de Lépidostomatidae, de Leptoceridae et de Chironomidae dans les contenus stomacaux et ces organismes représentent respectivement 24, 20 et 24% du volume des proies. A FG060, ce sont les Phryganeidae qui se trouvent dans le plus grand nombre d'estomacs (43%) et qui représentent la plus grande quantité de toutes les proies (40%) alors que les Chironomidae présents dans 52% des estomacs ne représentent que 3% du volume total des proies. Ceux-ci présentent de nouveau une assez grande importance dans plusieurs autres stations regroupées (occurrence de 58% et importance volumétrique de 17%). Il est à noter que dans ces stations, les amphipodes jouent un rôle non négligeable dans l'alimentation des ménominis (environ 15% d'occurrence et en volume).

Discussion

CROISSANCE EN LONGUEUR

La faible croissance des ménominis dans la Caniapiscou par rapport à ceux des deux autres milieux est facilement explicable. Les lacs et les rivières de cette région sont en effet situés profondément à l'intérieur des terres à une altitude d'environ 500 mètres. En été, la température de l'eau est en général 3 à 4°C plus basse que celle des eaux de La Grande Rivière dans sa partie inférieure. Les eaux gèlent généralement plus tôt à l'automne et dégèlent plus tard au printemps, la période sans glace n'étant que de 100 à 120 jours alors qu'elle est de 150 jours dans la partie aval de La Grande Rivière (Magnin, 1977).

Il est par contre difficile d'expliquer pourquoi les ménominis de la Grande rivière de la Baleine grandissent plus rapidement que ceux de La Grande Rivière située plus au sud. Cela pourrait s'expliquer par la compéti-

TABLEAU II

Pourcentage d'occurrence (O) et pourcentage de points (P) attribués aux proies rencontrées dans les contenus stomacaux des ménominis ronds pêchés près de Fort Georges (FG)

Proies	Station FG025		Station FG060		Autres FG		Total	
	O	P	O	P	O	P	O	P
Trichoptères								
Lepidostomatidae	72	24	39	15	37	23	56	21
Leptoceridae	53	20	39	13	21	1	43	15
Phryganeidae	13	4	43	40	5	1	19	14
Hydropsychidae	11	1	22	5	21	9	16	4
Brachycentridae			26	7			7	2
Psychomiidae	9	3			5	+	6	2
Hydroptilidae	9	+	4	+	5	+	7	+
Molannidae	2	+	4	+	11	8	4	2
Limnephilidae	4	1	4	1			3	1
Glossosomatidae					5	3	1	+
Autres	15	2	9	2	11	3	12	2
Total Trichoptères	83	56	96	83	68	49	83	63
Diptères								
Chironomidae	68	24	52	3	58	17	62	17
Dolichopodidae	2	1					1	+
Ceratopogonidae	2	+					1	+
Total Diptères	68	25	52	3	58	17	62	17
Éphéméroptères	15	2	17	1	5	+	13	1
Plécoptères			4	+	5	6	2	1
Hémiptères	4	+	4	+			3	+
Neuroptères			4	2			1	+
Coléoptères			4	1			1	+
Total Insectes	96	84	96	88	89	72	94	83
Mollusques								
Gastéropodes	26	5	26	3			20	3
Pélécyropodes	11	3	9	2	16	4	11	3
Total Mollusques	36	8	30	5	16	4	30	6
Amphipodes	2	+			16	14	4	3
Poissons								
<i>Cottus</i> sp.	4	3	4	3	5	6	4	3
Autres	2	+	4	1	5	1	3	+
Total Poissons	6	3	9	4	11	7	8	4
Phytoplancton	4	+			5	+	3	+
Débris	32	5	17	3	5	3	22	4
Nombre de contenus stomacaux	47		23		19		89	

tion interspécifique qui existe entre le ménomini rond et le grand corégone *Coregonus clupeaformis*. D'après Sandercock (1964), en effet, ces deux espèces partagent la même niche alimentaire et la présence de grands corégonos aurait pour effet de limiter la croissance des ménominis ronds qui habitent dans le même milieu. Sur le territoire de la Baie James, les deux espèces se trouvent généralement ensemble mais d'après les données de captures effectuées de 1973 à 1977, la proportion des ménominis par rapport aux grands corégonos est de 10 sur 3

dans la Grande Rivière de la Baleine alors qu'elle est de 3 sur 10 dans le bassin inférieur de La Grande Rivière.

Dans d'autres milieux de l'Amérique du Nord (fig. 3), la croissance du ménomini rond ne semble pas non plus obéir à la seule loi de la latitude. Elle est relativement faible dans les rivières Leaf, Koksoak et Georges qui se jettent dans la baie d'Ungava (Gray, 1965; Mackay et Power, 1968; Jessop et Power, 1973), se rapprochant de celle des ménominis du territoire de la baie James.

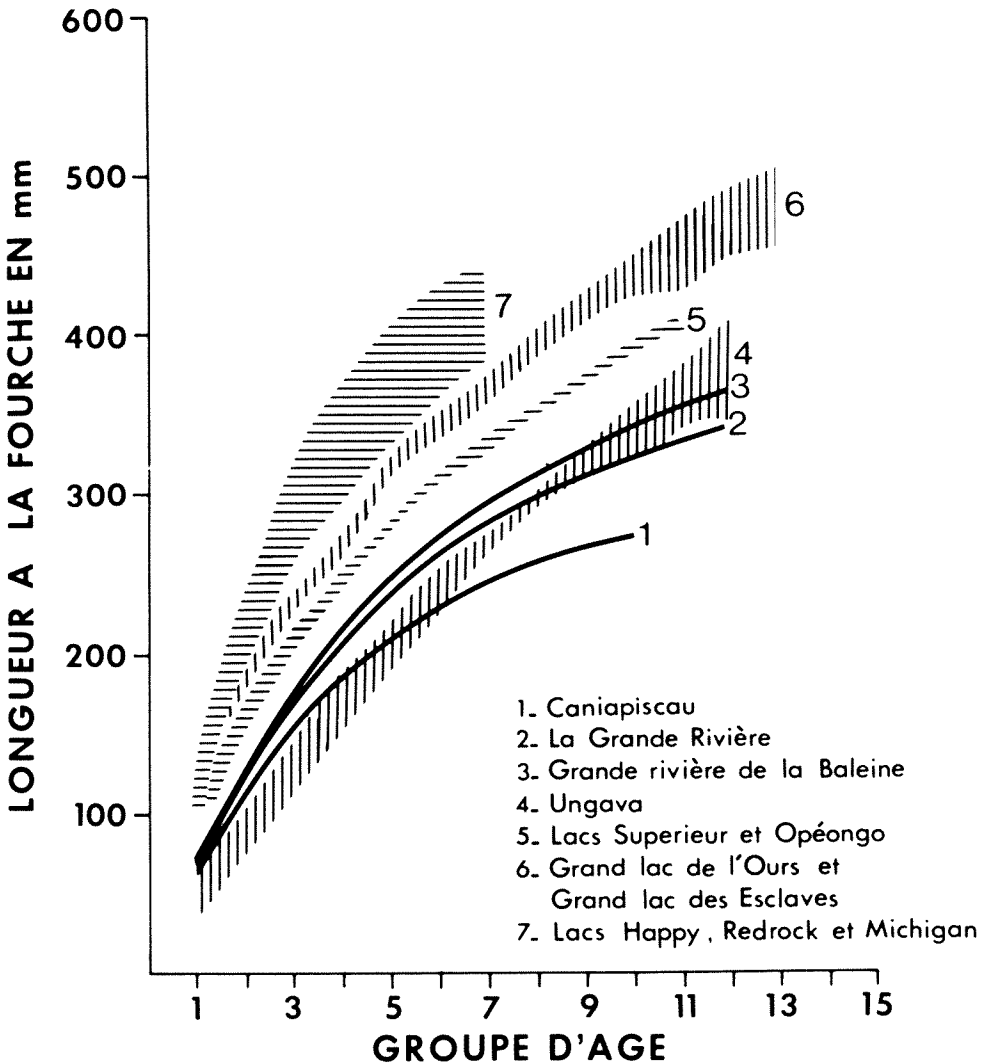


Figure 3. Croissance en longueur des ménominis ronds dans divers milieux de l'Amérique du Nord. Le nom des auteurs est cité dans le texte. Les courbes 1, 2 et 3 ont été tracées d'après les équations de von Bertalanffy.

Par contre, les ménominis du Grand lac de l'Ours (Falk et Dahle, 1974) et du Grand lac des Esclaves (Rawson, 1951), deux lacs des Territoires du Nord-Ouest, ont une croissance très supérieure à ceux du territoire de la Baie James, et même à ceux des lac situés plus au sud comme les lacs Supérieur (Bailey, 1963) et Opeongo (Sandercock, 1964). La meilleure croissance des ménominis a été observée dans le lac Michigan (Mraz, 1964; Armstrong et al., 1977) et dans les lacs Happy Isle et Redrock du Parc Algonquin (Sandercock, 1964).

CROISSANCE EN MASSE

D'après le tableau III, nous voyons que pour une longueur donnée, les ménominis ronds peuvent avoir des masses bien différentes suivant les milieux d'où ils proviennent. C'est dans le lac Michigan qu'ils pèsent le moins alors que c'est dans ce lac qu'ils ont la meilleure croissance en longueur. C'est par contre dans le Grand lac de l'Ours et dans les lacs du parc Algonquin qu'ils pèsent le plus. Ainsi, un ménomini de 300 mm pèse de 240 à 260 g dans le lac Michigan, de 265 à

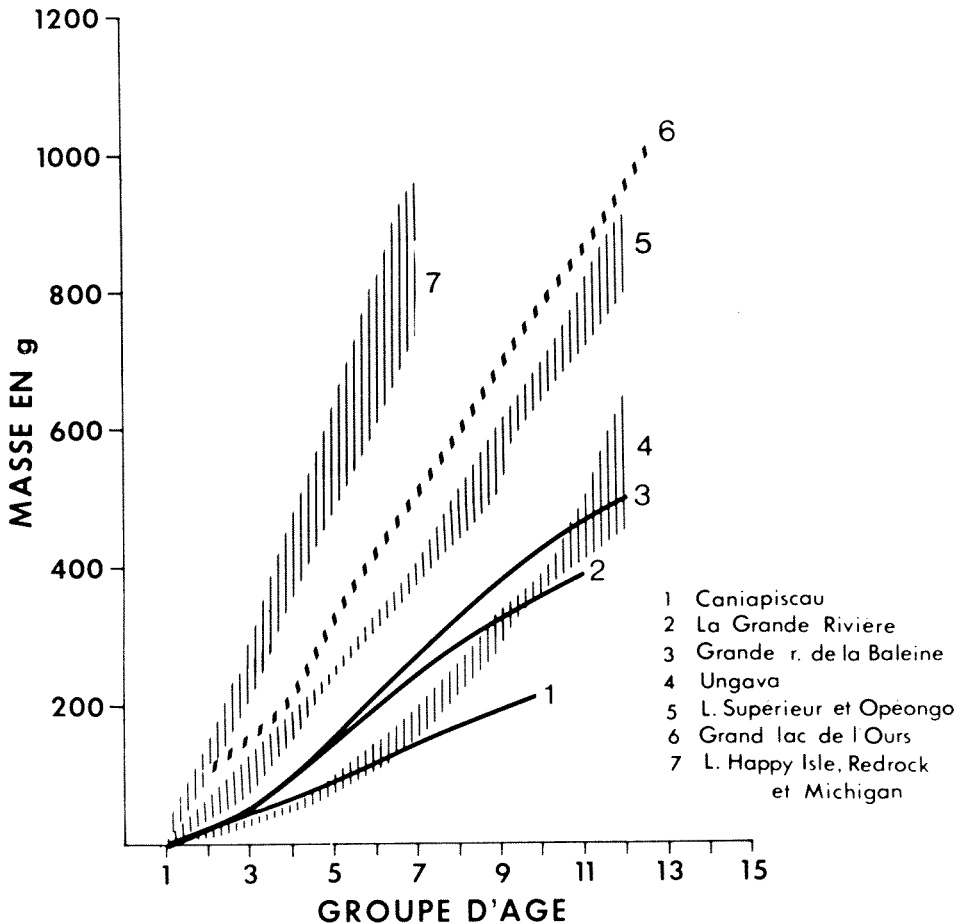


Figure 4. Croissance en masse des ménominis ronds dans divers milieux de l'Amérique du Nord. Le nom des auteurs est cité dans le texte. Les courbes 1, 2 et 3 ont été tracées d'après les équations de von Bertalanffy.

290 dans les lacs et les rivières du nord du Québec, 300 g dans le Grand lac de L'Ours, de 320 à 347 dans les lacs du parc Algonquin.

Par contre, la croissance en masse suit d'assez près la croissance en longueur dans les divers milieux (fig. 4). Elle est la plus faible dans les lacs et les rivières du territoire de la baie James et de l'Ungava (Mackay et Power, 1968; Jessop et Power, 1973), plus forte dans les lacs Supérieur et Opéongo (Bailey, 1963; Sandercock, 1964) et dans le Grand lac de L'Ours (Falk et Dahle, 1974) et enfin nettement plus forte dans les lacs Happy Isle, Redrock et Michigan (Sandercock, 1964; Mraz, 1964; Armstrong *et al.*, 1977).

RÉGIME ALIMENTAIRE

Les larves de Trichoptères et de Chironomides jouent aussi un rôle très important dans la nourriture des ménominis ronds du Grand lac de L'Ours (Kennedy, 1949), du Grand lac des Esclaves (Rawson, 1951) et du lac Black dans le nord du Saskatchewan (Johnson, 1971). Par contre, dans le lac Michigan (Armstrong *et al.*, 1977), ce sont les Mollusques Gastéropodes qui constituent l'élément principal du régime alimentaire des ménominis ronds. Toutes ces observations jointes aux nôtres montrent donc que ces poissons se nourrissent surtout sur le fond et qu'ils utilisent la nourriture disponible dans le milieu.

TABLEAU III

Masse des ménominis évaluée à diverses longueurs à partir des relations masse-longueur données par divers auteurs : Mraz (1964) et Armstrong (1977) dans le lac Michigan (A et B), Jessop et Power (1973) dans la rivière Leaf, Mackay et Power (1968) dans les rivières Georges et Koksoak, Falk (1974) dans le Grand lac de l'Ours, Sandercock (1964) dans les lacs Happy Isle, Opeongo et Redrock

LF en mm	Masse totale en g											
	Lac Michigan		Baie James			Riv. Leaf	Riv. Georges	Riv. Koksoak	Grand l. de l'Ours	Lac Happy Isle	Lac Opeongo	Lac Redrock
	A	B	GB	LG	CA							
100	6	6	7	9	7	8	17	15	11	15	10	9
200	63	63	71	78	69	74	67	65	89	101	87	87
250	131	138	146	157	147	153	134	136	172	188	174	183
300	239	261	265	276	273	279	269	289	297	321	319	347
350	397	447	438	447	460	464	540	611	478	492	516	580
400	617	712	677	677	723	720	1083	1292	701	712	781	903

Conclusion

Le faible taux de croissance en longueur et en masse des ménominis ronds du territoire de la Baie James ne s'explique pas uniquement par la latitude. Il est en effet plus fort dans le Grand lac de L'Ours et le Grand lac des Esclaves qui se trouvent à une latitude plus élevée. Sur le territoire même de la Baie James, il est plus fort dans le bassin inférieur de la Grande rivière de la Baleine que dans le bassin inférieur de La Grande Rivière situé plus au sud. La compétition plus grande avec le grand corégone *Coregonus clupeaformis* dans ce dernier bassin pourrait être la principale cause de la faible croissance. L'altitude semble par contre expliquer la très faible croissance des ménominis dans la région de la Caniapiscau.

Références

- ARMSTRONG, J. W., C. R. LISTON, P. I. TACK and R. C. ANDERSON, 1977. Age, growth, maturity and seasonal food habits of round whitefish, *Prosopium cylindraceum* in lake Michigan near Ludington, Michigan. — Trans. Am. Fish. Soc., 106: 151-155.
- BAILEY, M. M., 1963. Age, growth, and maturity of round whitefish of the Apostle Islands and Isle Royale regions, lake Superior. — U.S. Fish. Wildl. Serv. Fish. Bull., 63: 63-75.
- CARLANDER, K. D., 1969. Handbook of freshwater fishery biology. — Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, Vol. I. 752 p.
- FALK, M. R. and L. W. DAHLE, 1974. Data on the lake and round whitefish, lake cisco, northern pike and Arctic grayling from Great Bear Lake, N.W.T., 1971-1973. — Env. Can., Fish. Mar. Serv., Data Rep. Ser. No. CEN/D-74-1, 52 p.
- GRAY, I., 1965. Growth and morphometry of round whitefish *Prosopium cylindraceum* from the Ungava region. — M.Sc. thesis, Univ. Waterloo, 78 p.
- HYNES, H. B. N., 1950. The food of fresh-water sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. — J. Anim. Ecol., 19: 36-58.
- JESSOP, B. M., 1972. Aging round whitefish (*Prosopium cylindraceum*) of the Leaf River, Ungava, Québec, by otoliths. — J. Fish. Res. Bd Can., 29 (4): 452-454.
- JESSOP, B. M. and G. POWER, 1973. Age, growth, and maturity of round whitefish (*Prosopium cylindraceum*) from the Leaf River, Ungava, Québec. — J. Fish. Res. Bd Can., 30(2): 299-304.
- JOHNSON, R. P., 1971. Limnology and fishery biology of Black Lake, Northern Saskatchewan. — Saskat. Dep. Nat. Res. Fish. Wildl. Brch, Fish. Rep. No. 9, 47 p.
- KENNEDY, W. A., 1949. Some observations on the coregonine fish of Great Bear Lake, N.W.T. — Fish. Res. Bd Can., Bull. No. 82, 10 p.
- MACKAY, I. and G. POWER, 1968. Age and growth of round whitefish *Prosopium cylindraceum* from Ungava. — J. Fish. Res. Bd Can., 25(4): 657-666.
- MAGNIN, E., 1977. Écologie des eaux douces du territoire de la Baie James. — Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, Canada, 454 p.
- MAGNIN, E., A. M. CLÉMENT et V. LEGENDRE, 1978. Croissance, reproduction et régime alimentaire des touladis *Salvelinus namaycush* (Walbaum) du nord du Québec. — Naturaliste can., 105: 1-17.

- MRAZ, D., 1964. Age and growth of the round whitefish in Lake Michigan. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 93: 46-53.
- NORMANDEAU, D. A., 1969. Life history and ecology of the round whitefish *Prosopium cylindraceum* (Pallas), of Newfound Lake, Bristol, New Hampshire. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 98(1): 7-13.
- RAWSON, D. S., 1951. Studies of the fish of Great Slave Lake. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 8(4): 207-240.
- RICKER, W. E., 1973. Linear regressions in fishery research. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 409-434.
- RICKER, W. E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. — *Dep. Envir. Fish. Mar. Serv., Ottawa, Bull. No. 191*, 382 p.
- SANDERCOCK, F. K., 1964. A contribution to the ecology of the whitefishes *Prosopium cylindraceum* and *Coregonus clupeaformis* of Algonquin Park, Ontario. — M.Sc. thesis, Univ. of British Columbia, Vancouver, B.C., 63 p.
- SCOTT, W. B. et E. J. CROSSMAN, 1974. Poissons d'eau douce du Canada. — *Bull. N° 184, Off. Rech. Pêcheries Can.*, 1026 p.

THREE NEW SPECIES OF *PERISTENUS* FOERSTER FROM CANADA AND WESTERN EUROPE (HYMENOPTERA: BRACONIDAE, EUPHORINAE)

C. C. LOAN

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

Résumé

Trois nouveaux parasites du genre *Peristenus* Foerster s'attaquant aux hétéroptères de la famille des Miridae sont décrits: *P. adelphocoridis* n. sp. (Danemark et France) obtenu d'*Adelphocoris* sp.; *P. grenadierensis* n. sp. (Ontario, Canada)-hôte inconnu; et *P. guttatipidis* n. sp. (Saskatchewan, Canada), obtenu de *Plagiognathus guttatipes* Uhl.

Abstract

New species of *Peristenus* Foerster, parasites of plantbugs (Miridae) are described: from Denmark and France, *P. adelphocoridis* n. sp., reared from *Adelphocoris* sp.; from Canada, *P. grenadierensis* n. sp., host unknown, from Ontario; and *P. guttatipidis* n. sp., reared from *Plagiognathus guttatipes* Uhl. in Saskatchewan.

The alfalfa plantbug, *Adelphocoris lineolatus* (Goeze) and a complex of *Lygus* species are important insect pests of alfalfa in Saskatchewan (Craig, 1963; Loan and Craig, 1975). Recently, an undescribed euphorine was reared from the alfalfa plantbug in western Europe by Roger Fuester of the U.S. Department of Agriculture Beneficial Insects Research Laboratory, Newark, Delaware. This new species of *Peristenus* is described here so that it may be recognized from others reared from forage plantbugs in Europe as possible biocontrol candidates for release in Saskatchewan. The opportunity is also taken to describe two new Canadian species of *Peristenus*, one of which is associated with its host.

Types of the three new species are deposited in the Canadian National Collection, Ottawa.

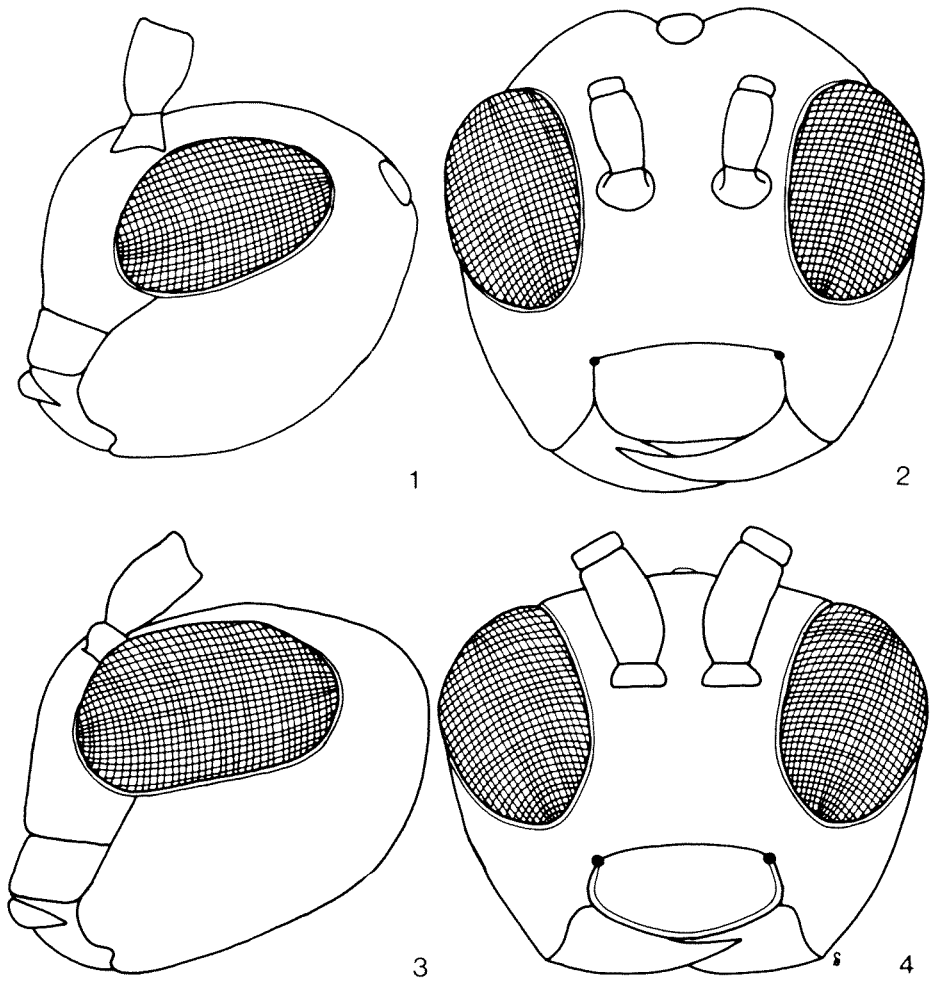
Peristenus grenadierensis n. sp. (Figs. 1-2)

Holotype: ♂, Canada, Ontario, Grenadier Island St. Lawrence I. Nat. Pk., coll. 29.V.1975, L. Masner, ex leaves of *Carya ovata* (Mill.) K. Koch. In the Canadian National Collection, Ottawa. CNC 15245.

Paratypes: 2♂, same data as holotype.

Holotype male: Length about 2.3 mm. Bicolorous. Ocellar triangle, mesepisternum

except basal area, propodeum, tergite 1 reddish black; head apart from ocellar triangle light reddish yellow with face somewhat lighter and concolorous with scape and pedicel; mesosternum somewhat lighter and concolorous with scape and pedicel; mesosternum and mesepisternum basally reddish brown; flagellum generally light reddish brown with apical 8 articles laterally not as light and dorsum of flagellum darker than ventral surface; pronotum and legs reddish yellow, tibia 3 somewhat infuscated on sides and behind; gaster behind tergite 1 fuscous. Head (figs. 1-2) in side view wedge-shaped with face almost flat; clypeus well impressed on apical margin; frons impunctate with a suggestion of microsculpture below median ocellus, medially separated by a fine carina; flagellum of antenna with 19 articles, about as long as thorax and gaster; face as wide as length of eye, or combined lengths of flagellar articles 1-2, 1.2 times as wide as apex of tergite 1; cheek behind eye rather swollen and wide, 1.6 times as wide as eye; malar space pronounced, subequal to basal width of mandible or postocellar space or flagellar article 2; ocellar triangle obtuse; occipital carina fine and slightly interrupted medially. Mesonotum sparsely hairy on scutum and front of lateral lobes, scutum with shallow indistinct punctures and lateral lobes smooth; notaulices narrow, fine, scarcely foveolate, area of convergence



Figures 1-4. *Peristenus* species. 1-2, *grenadierensis*: fig. 1, lateral view of head of male; fig. 2, front view of head of male. 3-4, *guttatipidis*: fig. 3, lateral view of head of female; fig. 4, front view of head of female. 40X.

discrete and wrinkled. Mesepisternum medially granulose, polished and smooth elsewhere. Prescutellar depression separated medially by a single carina. Propodeum closely reticulate. Tibia 3, 0,7 mm long. Tergite 1 almost 1,8 times as long as wide at apex, 2,0 times as long as width of eye, dorsum finely striate.

Female: Unknown.

Variation: Mesepisternum of paratype males light reddish rather than reddish brown of holotype.

Diagnostic characters: In the following combination, bicolorous habitus; antenna

with 19 flagellar articles, with distal articles dusky; mesepisternum medially granulose; tergite 1 narrow at its apex and not as wide as face, dorsum striate (♂).

Comments: Among males of bicolorous species of *Peristenus*, this new species is most similar to *P. tacamahacae* Loan and *P. clematidis* Loan. Some important recognition characters of males of the three species are listed in Table I.

Host: Unknown.

Seasonal occurrence: Specimens captured in late May.

Distribution: Canada. Ontario, St. Lawrence I. Nat. Pk.

TABLE I

Taxonomic characters of males of *Peristenus clematidis*, *P. grenadierensis*, and *P. tacamahacae*

<i>grenadierensis</i>	<i>tacamahacae</i>	<i>clematidis</i>
frons smooth tergite 1 striate, apex not nearly as wide as face, flagellum dusky apically, mesepisternum with a discrete medial area of fine sculpture otherwise smooth and polished,	frons punctate tergite 1 reticulate, apex not nearly as wide as face, flagellum light reddish, mesepisternum mostly rugulose except narrow smooth band medially,	frons smooth tergite 1 striate, apex as wide as face, flagellum light reddish, mesepisternum usually with smooth polished areas mostly granulose,

***Peristenus guttatipidis* n. sp.**
(Figs. 3-4)

Holotype: ♀, Canada. Saskatoon, emerged 23.I.1976, larva reared from nymphs of *Plagiognathus guttatipes* Uhl. coll. 8.VII.1975 ex *Astragalus* sp. Type in the Canadian National Collection, Ottawa. CNC 15246

Paratypes: 1 ♂, 3 ♀, same data as type, reared 8-16.I.1976.

Holotype female: Length about 2,6 mm. Bicolorous. Flagellum dusky, concolorous with tibia 3; head, pronotum, front area of mesepisternum, legs 1 and 2, mesoscutum light tawny, gaster reddish brown, remainder of thorax and propodeum brownish black.

Face hairy, 1,1 times as wide as eye, 1,3 times as wide as temple, not quite as wide as tergite 1 at its apex; malar space (fig. 4) somewhat less than width of mandible at its base, about as wide as length of flagellar article 2, not as wide as ocular-ocellar space; antenna with flagellum of 15 articles (apical article with 2 partly or completely united articles considered as 1 article), less than 2,0 times as long as head width; occipital carina uniformly strong and not obviously weak medially behind vertex. Mesonotum lightly hairy except lateral lobes posteriorly, notauli moderately foveolate; mesepisternum microsculptured posteromedially and posterobasally. Radial cell nearly as wide as breadth of stigma, about 0,3 times as wide as stigma; basella broken slightly below its middle with nervellus as long as lower abscissa. Tibia 3, 0,6 mm long. Propodeum reticulate, posteriorly rather hump-like and not sloping gradually to

gaster. Tergite 1 striate, 1,6 times as long as wide apically.

Male: Apart from secondary sexual differences, similar to the female but chiefly tawny with only the propodeum and tergite 1 of the gaster dark brown; flagellum of antenna with 18 articles.

Variation: No significant differences between male specimens.

Diagnostic characters: In the following combination, predominantly tawny; 15 flagellar articles of antenna (♀), strong occipital carina.

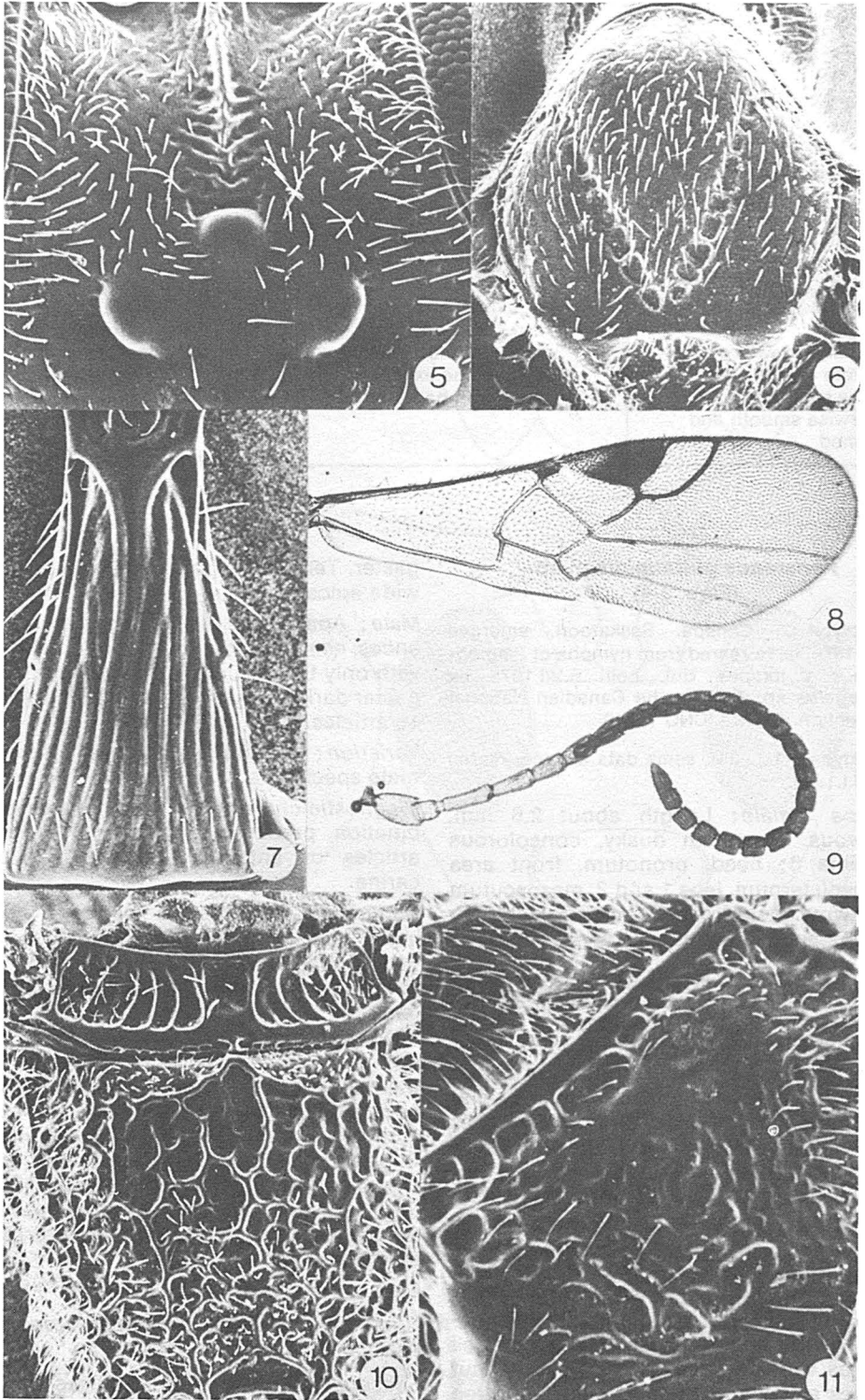
Comments: This species keys to *P. plagiognathi* Loan in Loan (1974) and is indeed very similar to it. The identification characters are color and slight structural differences: *P. guttatipidis* is chiefly tawny rather than the contrasting rufous and brown of *P. plagiognathi* and its flagellum is darker; the malar space, though considerable, is not as wide as that of *plagiognathi*; the occipital carina is pronounced; and the flagellum of the antennae has 15 articles and is not 2,0 times as long as the head width, whereas the flagellum of *plagiognathi* has 16-18 articles and is more than 2,0 times as long as the head width.

Material examined: 1 ♂, 3 ♀.

Host: *Plagiognathus guttatipes* breeding on *Astragalus* sp.

Seasonal occurrence: N4-5 stages of *P. guttatipes* were parasitized by L2-4 stages of *Peristenus guttatipidis* in July.

Distribution: Canada. Saskatchewan, Saskatoon.



Figures 5-11. *Peristenus adelphocoridis*: fig. 5, dorsal view of head showing ocellar triangle and sculpture of frons; fig. 6, mesoscutum and notauli; fig. 7, dorsal view of tergite 1; fig. 8, front wing; fig. 9, flagellum; fig. 10, dorsal view of propodeum; fig. 11, sculpture of mesepisternum. Figures 5-7, 10-11 scanning electron micrographs 225-245X. Figures 8-9, 70X.

***Peristenus adelphocoridis* n. sp.**
(Figs. 5-11)

Holotype: ♀, France. Grignon (Yvelines), emerged as larva 24.VI.1976, emerged as adult from cocoon 13.VI. 1977, host *Adelphocoris* sp., coll. R. W. Fuester. In the Canadian National Collection. Ottawa. CNC 155247

Paratypes: 14♂, 6♀, 1 specimen example not sexed (head missing). France. Data as type, 6♂, 3♀, 1 example not sexed, emerged as larvae 24-29.VI. 1976, emerged as adults from cocoons 18-27.V. 1977; Drome Dept., 1♂, 1♀, emerged as larvae 24.V-21.VI. 1976, emerged as adults I. 1977; Sassetot-le-Mau-conduit (Seine Maritime). 1♂, emerged as larva 17.VI. 1976, emerged as adult 10.V. 1977. Denmark. Kolding and Taps, Grimstrup, 7♂, 1♀, emerged as larvae 24-26.VI. 1976, emerged as adults 9.V. 1977. Host for all rearings, *Adelphocoris* sp.

Holotype female: Length about 3.4 mm. Black. Antenna with flagellum (fig. 9) dusky; coxa 3 and all trochantins fuscous, all other leg segments yellowish. Head wider than thorax with cheek weakly receding beyond eye; face and lower cheeks thickly hairy; malar space pronounced, about as wide as mandible at its base or as wide as eye; face width between eyes, width of eye, and width of tergite 1 at its apex subequal; temple not as wide as eye; antenna with flagellum slightly thicker medially than base or apex, 22 articles, 1-2 as long as face width, 2,4 times as long as head width, apical articles longer than wide; ocellar triangle (fig. 5) a right angle with posterior margins of lateral ocelli behind posterior eye margin; occipital carina strong on sides but less pronounced in middle behind vertex. Mesonotum punctate with notauli (fig. 6) clearly defined; mesepisternum area (fig. 11) ruguloso-punctate; venation (Fig. 8) typical of genus: radial cell on margin somewhat longer than stigma depth; nervellus slightly bowed, about as long as each abscissa of basella. Tergite 1 striate, 1,8 times as long as wide at apex (fig. 7). Tibia 3, 1,1 mm long.

Male: Apart from secondary sexual differences similar to female. Flagellum reddish dusky.

Variation: In female, antenna with flagellar articles 20-23 with most of the sample 22-23. In male, flagellar articles 23-26.

Diagnostic characters: In the following combination, black habitus; dorsal face of distitrochanters, and all of coxa 3 fuscous; mesepisternum ruguloso-opunctate; malar space about as long as basal width of mandible; antennae with flagellar articles 20-23 in females, 23-26 in males.

Comments: In my key to European species of *Peristenus* (Loan 1974) this species keys to *P. pallipes* (Curtis) because of its punctate frons and sculptured mesepisternum. The species are similar and in the absence of a reared series it would be difficult to correlate differences between them. However, *P. adelphocoridis* differs by the characters noted above as well as a much longer cheek relative to the eye in dorsal view, and a narrower apical margin of tergite 1. It is a larger braconid than *P. pallipes* which is not unexpected because its host is larger than the *Lygus* host of *P. pallipes*.

Material examined: 14♂, 7♀.

Host: *Adelphocoris* sp., breeding on *Medicago sativa* L.

Seasonal occurrence: Larvae of *P. adelphocoridis* emerged from N5 stage nymphs in late June, 1976. Adults emerged from cocoons in May, 1977.

Distribution: Denmark. Kolding, Grimstrup, Taps. France. Drome Dept., Grignon (Yvelines), Sassetot le- Mauconduit (Seine Maritime).

References

- CRAIG, C. H., 1963. The alfalfa plantbug (*Adelphocoris lineolatus* (Goeze) in northern Saskatchewan. — *Can. Ent.*, 95(1): 6-13.
- LOAN, C. C., 1974a. The European species of *Leiophron* Nees and *Peristenus* Foerster (Hymenoptera: Braconidae, Euphorinae). — *Trans. R. Ent. Soc. Lond.*, 126: 207-238.
- LOAN, C. C., 1974b. The North American species of *Leiophron* Nees, 1818 and *Peristenus* Foerster, 1862 (Hymenoptera: Braconidae, Euphorinae) including the description of 31 new species. — *Naturaliste can.*, 101: 821-860.
- LOAN, C. C. and H. C. CRAIG, 1975. Euphorine parasitism of *Lygus* spp. in alfalfa in western Canada (Hymenoptera: Braconidae; Heteroptera: Miridae). — *Naturaliste can.*, 103(6): 497-500.

EUPHORINAE PARASITIC ON GROUND BEETLES WITH DESCRIPTIONS OF
THREE NEW SPECIES OF *MICROCTONUS* WESMAEL (HYMENOPTERA :
BRACONIDAE, AND COLEOPTERA : CARABIDAE)

C. C. LOAN

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

and

N. J. HOLLIDAY¹

*Research Station, Agriculture Canada, Vineland Station
Ontario L0R 2E0*

Résumé

Nous décrivons trois nouvelles espèces de *Microctonus* obtenues d'adultes de coléoptères carabiques : *M. amaraphagus* Loan n. sp. d'*Amara* sp. du Sud Dakota ; *pilatus* Loan n. sp. d'*Evarthrus colossus* Lec. du Sud Dakota ; et *vinelandicus* Loan n. sp. d'*Harpalus affinis* Schr. de l'Ontario. Le nombre de *M. vinelandicus* varie entre 2 et 20 par carabique adulte. Les larves de ces parasites émergent de la fin d'avril au début de mai, et les adultes émergent de leur cocon à la mi-mai. Huit pour cent ou moins des adultes d'*Harpalus affinis* sont parasités.

Abstract

Three new species of *Microctonus* reared from adult ground beetles are described : *amaraphagus* Loan n. sp. from *Amara* sp. in South Dakota ; *pilatus* Loan n. sp. from *Evarthrus colossus* Leconte in South Dakota ; and *vinelandicus* Loan n. sp. from *Harpalus affinis* schrank in Ontario. The number of larvae of *M. vinelandicus* emerging from a single ground beetle varied from 2-20. They emerged in late April and early May, and adults from cocoons in mid-May. Parasitism of adult *H. affinis* did not exceed 8 per cent.

Three new species of *Microctonus* Wesmael reared from adult carabids in North America are described in this paper : *amaraphagus* Loan n. sp., *pilatus* Loan, n. sp., and *vinelandicus* Loan, n. sp. Host carabids are, respectively, *Amara* sp., *Evarthrus colossus* Leconte, and *Harpalus affinis* Schrank. *M. vinelandicus* was reared by the second author from *H. affinis* captured in pitfall traps in an apple orchard near Vineland, Ontario. This euphorine may be the species found at Belleville, Ontario, by Rivard (1964) as larvae in adult *Pterostichus melanarius* Illiger. *M. pilatus* and *amaraphagus* were reared in South Dakota by V. M. Kirk of the U.S. Department of Agriculture, Northern Grain Insects Research Laboratory, Brookings. Records of euphorine parasitism of adult ground beetles include Luff (1976) with *M.*

caudatus (Thomson) reared from *H. rufipes* (Degeer) in England ; Watanabe (1954), *M. harpali* from *H. capito* Morawitz in Japan ; and Muesebeck (1936), *M. carabivorus* Muesebeck from *Galerita* species in the United States. These euphorines parasitic on ground beetles do not appear to be related by common structural characters and thus are not distinct as a group from species associated with hosts such as leaf beetles or weevils. All of them, however, develop gregariously with a variable number emerging from an adult host beetle : e.g. Luff (1976) found a maximum of 92 larvae of *M. caudatus* in a single host. Supernumerary larvae result from multiple strikes at a host as well as deposition of a batch of eggs per oviposition e.g. *M. disonychae* Loan (*in* Loan, 1967). Gregarious development, however, is un-

¹ Present address : Department of Entomology, University of Manitoba, Winnipeg, Man. R3T 2N2.

common in *Microctonus* and appears to be related to the size of the host as it is known only from other large Coleoptera in various other families: Tenebrionidae, *M. elioidis* (Viereck) from *Eleodes* and *Embaphion*;

Chrysomelidae, *M. disonychae* Loan from *Disonycha triangularis* Say; and Cerambycidae, *M. morimi* Ferriere from *Morimus asper* Sulzer (literature citations in Loan, 1967).

KEY TO FEMALES OF *MICROCTONUS* REARED FROM ADULT CARABIDAE

1. Tergite 1 about 3.0 times as long as wide at apex, slender. Basella broken above its middle so that lower abscissa much longer than upper abscissa and longer than nervellus. United States *carabivorus* Muesebeck
Tergite 1 not as slender and less than 3.0 times as long as wide at apex. Basella broken near its middle or above or below 2
2. Ovipositor and sheaths unusually long, about 2.0 times as long as tibia 3, and curved ventrally. United States *pilatus* n. sp.
Ovipositor and sheaths not as long as or only slightly longer than tibia 3 and straight rather than curved ventrally 3
3. Antenna with flagellar articles 19-21. Mesoscutum with dense hair, lateral lobes sparsely hairy and indistinctly punctate. Reddish to black. Canada *vinelandicus* n. sp.
Antenna with flagellar articles 22-24. Mesoscutum sparsely hairy and lateral lobes bare and smooth. Yellowish to reddish brown 4
4. Eye small with length only slightly exceeding width of face between the eyes. Bicolourous with reddish yellow head and castaneous thorax. Antenna with flagellar articles 23. United States *amaraphagus* n. sp.
Eye length greatly exceeding face width. Vertex of head nearly concolorous with mesoscutum. Antenna with flagellar articles 22 or 24 5
5. Yellow. Cheek weakly curved to occipital carina so that it is not at any point parallel to eye margin. Occipital carina strong and complete medially. Antenna with flagellar articles 22. Japan *harpali* Watanabe
Tawny. Cheek parallel to eye margin behind eye, then broadly curved to occipital carina which is interrupted medially. Antenna with flagellar articles 24. England, Sweden .. *caudatus* (Thomson)

Microctonus amaraphagus n. sp. (Figs. 1-2, 8)

Holotype: ♀, United States. South Dakota, Yankton, host adult carabid coll. 28.III.1967, sod and rock, larva em. 12.IV.1967 and adult 1.V.1967, coll. V. M. Kirk. Type in the U.S. National Museum, Washington, D.C.

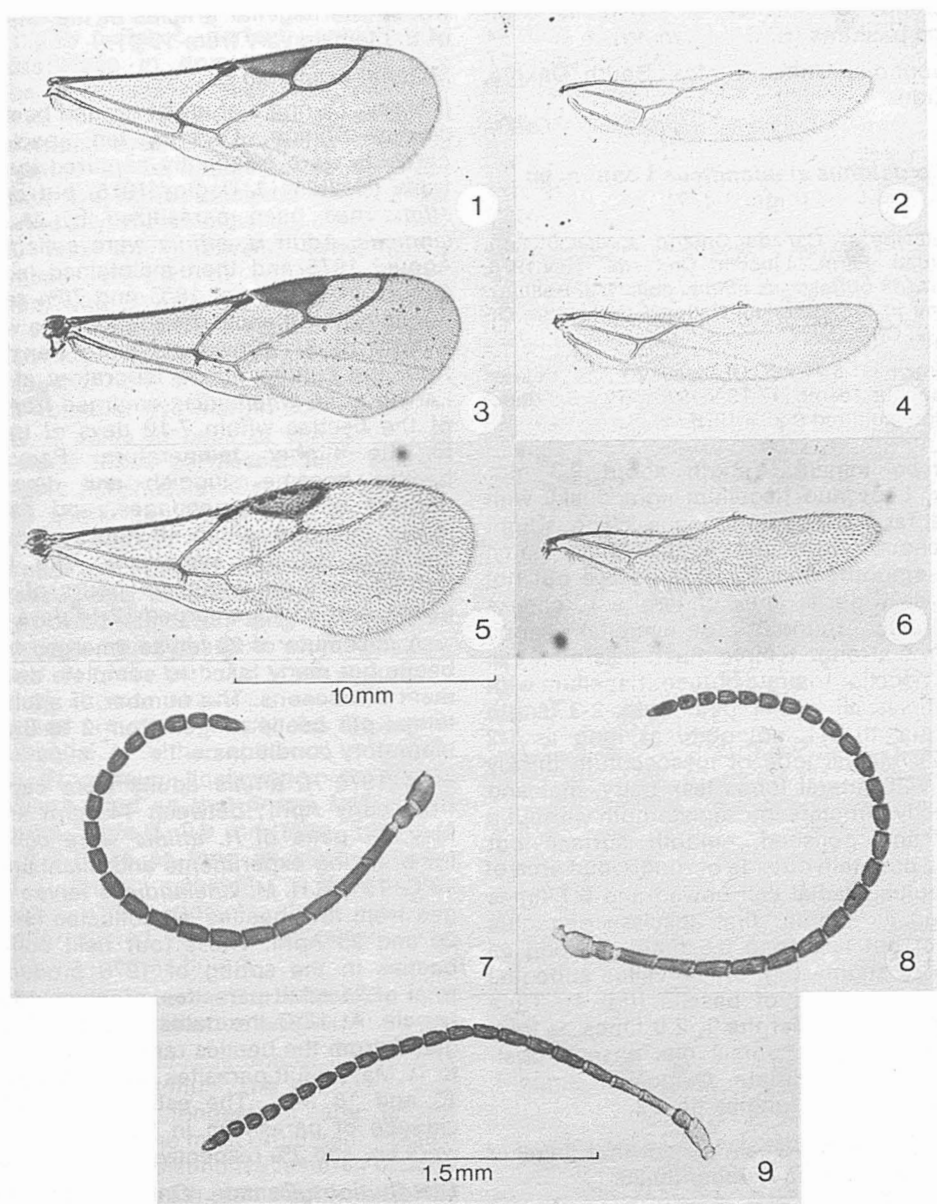
Paratypes: 2 ♀, 1 ♂, data as type. CNC 15866.

Holotype female: Length about 2.3 mm. Bicolourous. Head, legs, gaster behind tergite 1 tawny with remainder of body reddish brown. Frons and vertex smooth, polished without hairs. Eyes barely convergent on face, small, width subequal to tergite 1 at apex; face relatively wide, nearly as wide as eye length; cheeks behind eyes rounded to occipital carina which is complete medially; temple not as wide as eye; antenna with flagellum (Fig. 8) widest medially, with 23 articles, 1-2 as long as face width between eyes, 2-3 or 3-4 only slightly less. Thorax with mesoscutum finely hairy, with lateral lobes of mesoscutum bare and shining; mesepisternum smooth except a large, rugulose, medial

depression in lower 0.5. Front wing with radial cell bowed and not as long as stigma; first abscissa of radius offset distally, nearly 0.5 times as long as depth of stigma (fig. 1) Hind wing with nervellus about as long as either abscissa of basella (fig. 2). Propodeum short with dorsal face hump-like and posterior face almost vertical, closely-reticulate. Tibia 3, 0.8 mm long. Gaster with tergite 1, 2.5 times as long as wide at apex, petiole without sculpture or dorsal pits, postpetiole striate with lateral margins carinate. Ovipositor straight, without a downward curve, sheaths not quite as long as tibia 3, 1.3 times as long as tergite 1.

Male: Similar to female but antenna with 28 flagellar articles in the single male paratype.

Diagnostic characters: Members of this species can be separated from others of *Microctonus* associated with carabids by the following combination of diagnostic characters: face distinctly wider than eye, head yellowish, mesoscutum hairy and punctate, first abscissa of radius offset distally, propodeum



Figures 1-8. *Microctonus* species, wings. 1-2, *amaraphagus*; 3-4, *vinelandicus*; 5-6, *pilatus*. Antennae. 7, *vinelandicus*; 8, *amaraphagus*; 9, *pilatus*.

short with dorsal face approximately at right angle to posterior face.

Comments: Antennae of the two females of the type material have 23 flagellar articles. The wide face of the female, bicolorous habitus, and short radial cell are other distinctive characters of this species.

Material examined: 2♀, 1♂.

Cocoon: 3.1 mm long, hard-walled, white, without loose strands of silk.

Host: *Amara* sp.

Biology: According to label data, the adult *Amara* was collected in late March, 1967, the euphorine larva emerged from the host 12 April, and the adult *M. amaraphagus* emerged from its cocoon 1 May. The habitat

preference of species of *Amara* is over-grazed pastures (H. Goulet *in litt*).

Distribution: United States. South Dakota, Yankton.

***Microctonus vinelandicus* Loan, n. sp.**
(Figs. 3-4, 7)

Holotype: ♀, Canada. Ontario, Jordan Station, Jordan Farm, Lincoln Co. em. 19.V.1976, parasite of *Harpalus affinis*, coll. N. J. Holliday. Type in the Canadian National Collection, Ottawa. CNC 15522.

Paratypes: 8 ♀, 7 ♂. Of these, 2 ♀, 1 ♂ data as type but reared 17-19.V.1976; 5 ♀, 6 ♂ laboratory cultured 9-25.II.1976.

Holotype female: Length about 2,3 mm. Black. Legs and flagellum light dusky with dorsal face of coxa 3 fuscous, clypeus light testaceous. Orbit and temple finely hairy, frons smooth; face as wide as eye but not quite as wide as apex of tergite 1; cheeks moderately rounded to occipital carina which is strong; temple much less than eye width; ocellar triangle obtuse; flagellum with 21 articles all longer than wide, 2-3 length subequal to 3-4, not quite as long as 1-2 (fig. 7). Medial lobe of mesoscutum thickly hairy with lateral lobes less hairy, mat and distinctly punctate, mesepisternum without a large and polished, smooth surface but widely punctate outside of roughened area of sternaulus. Radial cell bowed and 0,7 times as long as stigma; first abscissa of radius distinct but less than 0.5 times as long as depth of stigma (fig. 3); nervellus subequal to each abscissa of basella (fig. 4). Tibia 3, 0,9 mm long. Tergite 1, 2,0 times as long as wide at apex, dorsal pits absent, post-petiole densely striate. Ovipositor straight, sheaths about as long as tibia 3.

Male: Similar to female except that flagellar articles of antenna number 20-23.

Diagnostic characters: Of the species of *Microctonus* attacking carabids, *M. vinelandicus* is distinct by its black habitus, face as wide as eye, hairy mesoscutum, lateral lobes of mesoscutum sparsely punctate, and rather short and apically wide tergite 1.

Comments: Some female specimens are paler than the type with the face and cheeks, and the gaster behind tergite 1 reddish testaceous. The coxa 2-3 may be entirely fuscous. The female of *vinelandicus* is further characterized by cheeks well inside the lateral eye margin so that the eyes pro-

trude. The flagellar articles of the antennae of the female vary from 19-21.

Material examined: 9 ♀, 7 ♂.

Biology: During a study of ground beetles at Jordan Station, Ontario, ten species of carabids were frequently captured in pitfall traps (Holliday & Hagley 1978) but only *H. affinis* has been parasitized by *M. vinelandicus*. Adult *H. affinis* were collected in August 1975 and then maintained in mass culture in terraria at 18°C and 70% relative humidity. At intervals throughout the winter, a total of 51 individuals were transferred from the culture into a laboratory at 22°C. Larvae of *M. vinelandicus* emerged from four of the beetles within 7-10 days of transfer to the higher temperature. Parasitized beetles became sluggish and developed tremors of the appendages, and parasite larvae emerged within 48 hours of the appearance of the symptoms. The larvae formed cocoons within 24 hours of emergence, and adults emerged 12-14 days later.

A maximum of 20 larvae emerged from a beetle but many failed to complete development in cocoons. The number of adults obtained per beetle ranged from 2 to 8 under laboratory conditions.

In 1976 *H. affinis* adults were captured from early April; between 14 April and 27 May, 61 pairs of *H. affinis* were collected for breeding experiments and maintained at 18°C, 70% R.H. *M. vinelandicus* larvae emerged from four beetles, all collected between 20 and 23 April. These four field collected beetles in the spring of 1976 produced a total of 21 adult parasites, of which 18 were female. At 18°C the dates of parasite emergence from the beetles ranged from 26 April to 10 May; adult parasites appeared between 13 and 18 May. The estimates of the incidence of parasitism in 1975 and in 1976 were 8% and 3% respectively.

Distribution: Canada. Ontario, Jordan Station.

***Microctonus pilatus* n. sp.**
(Figs. 5-6, 9)

Holotype: ♀, United States. South Dakota, White, 31.VII.1967, corn, reared ex *Evarthrus colossus*, V. M. Kirk. Type in the U.S. National Museum, Washington, D.C.

Paratypes: 13 ♀, 2 ♂. Data as type with rearing dates 7-28.VIII.1976. CNC 15867.

Holotype female: Length about 2,0 mm. Bicolourous. Head and dorsum of thorax red-

dish black, elsewhere tawny. Vertex and frons highly polished, perfectly smooth and glabrous; face in dorsal view projecting anterior to surface of eyes; eye unusually small, its length about equal to width of face between eyes and its width subequal to tergite 1 at its apex, temple distinctly less than eye width; occipital carina complete medially; head between cheeks only slightly less than between eyes, cheek moderately rounded to occipital carina; flagellum with 22 articles, 1-2, 2-3, 3-4 subequal length, all articles longer than wide and flagellum widest medially (fig. 9); ocellar triangle a right angle; lateral ocelli well behind posterior eye margin so that ocellar triangle is close to back of vertex. Thorax with lateral lobes of mesoscutum smooth and highly polished, medial lobe also shining and nearly as smooth with short, very sparse hair; notauli fine and narrow; mesepisternum smooth and polished outside of roughened area of sternaulus. Radial cell weakly bowed, almost as long as stigma on wing margin; first abscissa of radius, pronounced, but less than 0,5 times as long as depth of stigma, extended medially from stigma and not offset distally (fig. 5); nervellus subequal to either abscissa of basella (fig. 6). Propodeum finely reticulate, sloped gradually behind so that dorsal face is not horizontal. Tibia 3, 0,9 mm long. Tergite 1 about 2,0 times as long as wide at apex, dorsal pits absent, post-petiole carinate with dorsal face striate. Ovipositor curved ventrally, extremely long, 2,0 times as long as tibia 3.

Diagnostic characters: The unusually long ovipositor and sheaths are unique.

Comments: *M. pilatus* is one of the smaller species in *Microctonus*. The ovipositor and sheaths are the longest of any known species and thus the most prominent species characters. Other distinctive features include a small eye, smooth and highly polished vertex and mesoscutum, and venation: a long first abscissa of the radius which may be 0,5 times as long as the depth of the

stigma, and a long radial cell which may be as long as the stigma on the wing margin. The flagellar articles of the antennae of the female vary from 20-22.

Material examined: 14♀, 2♂.

Cocoon: 2,7 mm long, thin-walled, paper-like, light sandy color and smooth without loose strands of silk.

Host: *Evarthrus colossus* Leconte.

Biology: According to label data, *M. pilatus* emerged from cocoons from 31.VII-28.VIII. 1967. The host carabids were collected in corn fields. Arnett (1960) noted that *Evarthrus* is found in open fields and dry woodlands at low altitude.

Distribution: United States. South Dakota, White.

References

- ARNETT, Jr. ROSS H., 1960. The beetles of the United States. — Cath. Univ. Am. Press, Washington, D.C., 1112 p.
- HOLLIDAY, N. J., and E. A. C. HAGLEY, 1978. Occurrence and activity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a pest management apple orchard. — Can. Ent., 110: 113-119.
- LOAN, C. C., 1967. Studies on the taxonomy and biology of the Euphorinae (Hymenoptera: Braconidae). II. Host relations of six *Microctonus* species. — Ann. Ent. Soc. Am., 60: 236-240.
- LUFF, M. L., 1976. The biology of *Microctonus caudatus* (Thomson), a braconid parasite of the ground beetle *Harpalus rufipes* (Degeer). — Ecol. Ent., 1: 111-116.
- MUESEBECK, C. F. W., 1936. The genera of parasitic wasps of the braconid subfamily Euphorinae with a review of the Nearctic species. — USDA Misc. Pub., N° 241, 37 p.
- RIVARD, I., 1964. Notes on parasitism of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in Ontario. — Can. J. Zool., 42: 919-920.
- WATANABE, C., 1954. Description of a new species of *Microctonus* bred from the carabid beetle *Harpalus capito* Morawitz (Hymenoptera: Braconidae). — Insecta Matsum., 18: 109-110.

ÉTUDE DES MÉCANISMES DE L'ANESTHÉSIE AU CO₂ CHEZ *BOMBYX MORI* À L'AIDE DES VARIATIONS DU RYTHME CIRCULATOIRE

Daniel SILLANS

Laboratoire de Biométrie, Département de Biologie générale et appliquée,
43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69621 Villeurbanne, France

Résumé

L'étude des variations du rythme circulaire des chenilles et des papillons de *Bombyx mori* soumis à une anesthésie à l'anhydride carbonique nous renseigne sur les mécanismes d'action de ce produit. Le CO₂ pur provoque l'arrêt circulaire. Un mélange 50% CO₂-50% O₂ produit un effet identique au CO₂ pur. L'azote pur (anoxie) provoque un ralentissement mais pas l'arrêt du rythme circulaire. L'action du CO₂ ne peut donc être reliée à un simple phénomène d'anoxie. Une intervention au niveau nerveux est envisageable puisque l'anhydride carbonique produit les mêmes effets que l'éther qui est un anesthésique classique.

Abstract

The study of heartbeat variation in the adult and larvae of the silkworm *Bombyx mori* after CO₂ narcosis informs us on the anesthetic mechanism of this gas. Pure CO₂ causes cardiac arrest. A mixture of 50% CO₂-50% O₂ has the same effect as pure CO₂. Nitrogen which produces anoxia brings about a decrease in heartbeat but not arrest. Consequently CO₂ anesthesia cannot be explained simply as anoxia. An action at the nerve level is possible since CO₂ produces the same effects as ether, which is a classical anesthetic.

Introduction

L'anhydride carbonique, constituant normal de l'atmosphère et produit de déchet, provoque à forte concentration l'immobilisation des insectes. Sa simplicité d'emploi et sa sécurité ont conduit à l'utiliser comme narcotique. Différents mécanismes ont été invoqués pour expliquer son action en particulier au niveau respiratoire et énergétique. Bien que son action anesthésique ait été démontrée chez les animaux supérieurs, chez les insectes il n'a pratiquement jamais été envisagé un mécanisme similaire aux anesthésiques. Nous pensions que, suivant que l'anhydride carbonique donnerait des résultats analogues ou pas à ceux obtenus avec l'éther, nous pourrions imaginer sinon définir les mécanismes d'action de ce produit. Une étude des variations du rythme circulaire après anesthésie au CO₂ a été faite.

Chez les insectes, l'appareil respiratoire est constitué de trachées très ramifiées qui apportent directement l'oxygène au niveau des tissus et cellules qui l'utilisent si bien que le système circulaire n'a qu'un rôle réduit lors des échanges respiratoires ini-

tiaux. Cet appareil circulaire est un système ouvert dont l'activité est assurée par un vaisseau dorsal appelé cœur. Ce dernier a des propriétés en accord avec le rôle réduit de l'appareil circulaire, il peut être tétanisé ou arrêté de battre sans dommages pour l'animal.

Il est admis que la contraction cardiaque est myogène (Miller, 1973) mais la régulation du rythme est nerveuse. Une manière de décider si un cœur est myogène ou neurogène est de bloquer la transmission nerveuse par un produit spécifique. Celui-ci peut être un anesthésique puisque Bernard (1875) a montré que les anesthésiques généraux agissent au niveau nerveux. L'éther dont l'action au niveau synaptique est connue a souvent été utilisé pour décider chez les invertébrés (Needham, 1950) s'ils avaient un cœur myogène ou neurogène suivant que les battements cardiaques s'arrêtent après ou avant l'immobilisation. En effet les anesthésiques atteignent les muscles qui ont une commande nerveuse mais peu ceux qui ont un automatisme propre.

Nous avons montré (Biston et Sillans, 1976; Sillans et Biston, 1976) que l'éther pro-

voque l'arrêt circulatoire aussi bien chez les adultes que chez les larves. Toutefois l'arrêt circulatoire n'intervient qu'après l'immobilisation. Au cours de la récupération, il y a reprise du rythme cardiaque qui s'accélère progressivement pour rejoindre la valeur du témoin. La reprise des battements cardiaques est antérieure à la reprise d'activité qui n'intervient que lorsque l'insecte a retrouvé un rythme circulatoire normal. On vérifie ainsi la myogénéicité du cœur des Lépidoptères.

En faisant agir un anesthésique, on produit un stress. L'étude des variations du rythme circulatoire sous anesthésie nous renseigne à la fois sur le fonctionnement cardiaque et sur la réponse à des stress aigus.

Matériel et méthodes

ANIMAUX

Nous avons choisi de travailler sur *Bombyx mori*, larves et adultes. Les animaux proviennent d'un croisement des races européennes 200 et 300. Les larves sont utilisées au dernier stade, un jour avant le filage du cocon; elles ont été normalement nourries à l'aide de feuilles de mûrier. Les adultes sont utilisés le lendemain de l'émergence.

MÉTHODE

On dénombre durant cinq minutes le rythme circulatoire comme témoin, puis l'insecte est mis en contact avec l'anesthésique durant un temps «t» appelé durée de l'anesthésie au bout de laquelle il est remis dans l'air, c'est la période de récupération. Le dénombrement des battements cardiaques est continu durant l'anesthésie et la récupération.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Dans les premières expériences que nous avons réalisées, le comptage était effectué à l'œil nu. Le caractère très fastidieux de ce travail nous a conduit à mettre au point un appareil de dénombrement automatique (Biston et Sillans, 1976) basé sur une méthode optique ce qui implique que le vaisseau dorsal soit visible par transparence. On se reportera à Sillans (1978) pour la méthode d'enregistrement du rythme cardiaque chez les insectes.

Le capteur est un phototransistor qui est appliqué sur le dos de l'insecte très près de

l'éperon et maintenu par deux fines bandes de toile adhésive. Le capteur est connecté à l'électronique par des fils très fins suffisamment longs pour permettre les mouvements de la larve; celle-ci est libre durant l'expérience témoin et durant la période de récupération.

Durant l'anesthésie, l'insecte est immobilisé sur une gouttière en plexiglass et maintenu par une bande de toile adhésive. Cette gouttière est introduite dans une enceinte transparente de 40 ml qui est munie d'une porte traversée par les fils du capteur et par les tuyaux d'arrivée et de sortie du mélange anesthésique (l'enceinte transparente permet un contrôle visuel du vaisseau dorsal).

L'électronique est reliée à un enregistreur qui permet en plus de la numération d'obtenir la forme du battement. Le débit des gaz (O_2 - CO_2 - N_2) est contrôlé très précisément à l'aide d'un gyromètre. Le mélange est stabilisé dans un réacteur situé entre les gyromètres et l'enceinte. Pour éviter les fluctuations de température, le mélange passe dans un serpentin très long qui est immergé dans un bain thermostaté. L'enregistrement obtenu, les battements cardiaques sont dénombrés de 15 s en 15 s. L'expérience dure plus de deux heures ce qui représente 700 données. Tous les résultats des expériences décrites ont été quantifiés (Sillans, 1978). Pour chaque combinaison des facteurs étudiés, 10 répétitions, au moins, ont été effectuées.

Résultats

La figure 1 montre l'anesthésie d'une larve au CO_2 pur durant 4 minutes. Dès la mise en contact avec l'anesthésique, on observe un arrêt circulatoire qui se maintient durant toute la durée du contact. Lorsque l'insecte est remis dans l'air, on assiste à une reprise du rythme circulatoire qui «d'abord lent» s'accélère très rapidement jusqu'à un maximum nettement supérieur à la valeur du témoin mesurée avant l'anesthésie; le rythme rejoint ensuite progressivement cette valeur.

On peut définir un excédent de battements qui est égal à la somme des différences, pour toutes les minutes ou l'on observe un rythme supérieur au témoin, entre le rythme de la minute considérée et le rythme témoin. La variation de l'excédent de battements en fonction de la durée de l'anesthésie a l'allure typique d'une courbe à saturation, le

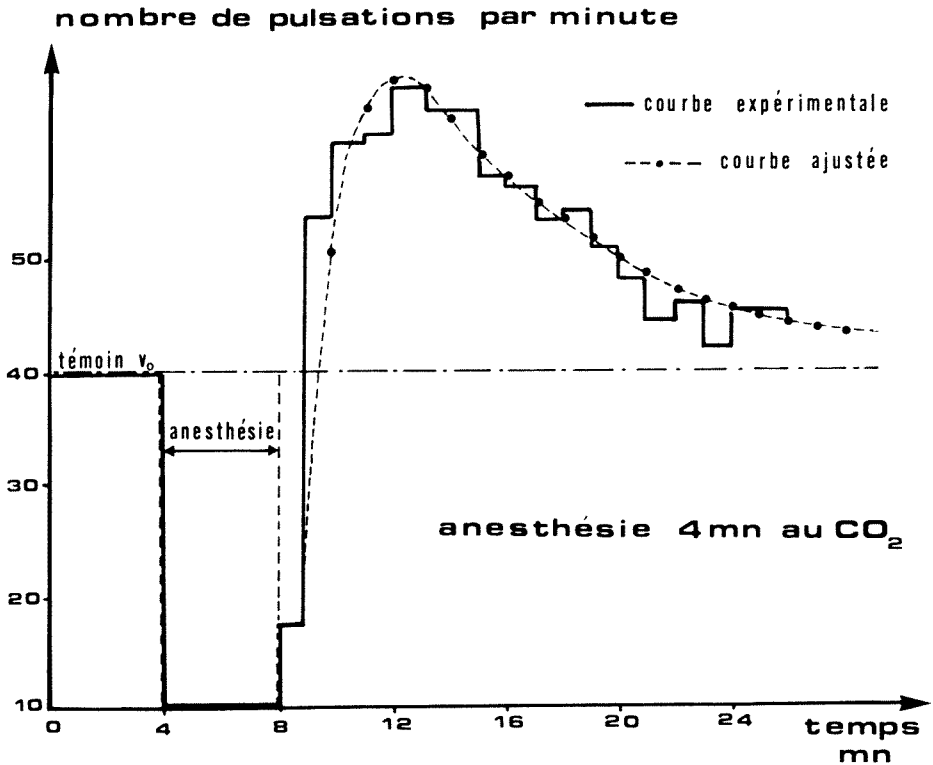


Figure 1. Anesthésie d'une larve au CO₂ pur durant 4 minutes. Variation du nombre de battements par minute en fonction du temps.

plateau étant atteint pour dix minutes d'anesthésie. Pour des durées supérieures à 10 minutes, il y a apparition d'un temps de latence avant la reprise des battements. Celui-ci présente aussi une limite: 60 minutes d'anesthésie, qui est donc la durée minimale pour avoir un effet maximal (Sillans *et al.*, 1969).

On peut rendre compte de la courbe de récupération par un modèle mathématique simple correspondant à une somme de deux exponentielles. L'une étant une force mécanique de régulation qui tend à toujours ramener le rythme à sa valeur originelle, l'autre correspondant à l'élimination d'une substance accumulée durant l'anesthésie.

Outre la numération pure et simple du rythme, on peut s'intéresser à la forme du battement, en particulier à l'amplitude de celui-ci. C'est ce que montre la figure 2 qui correspond à une anesthésie de 10 minutes. Le rythme témoin est très régulier et l'arrêt cardiaque est absolu durant l'anesthésie. Au

cours de la récupération, la reprise de l'activité cardiaque montre des battements irréguliers avant une accélération du rythme qui conduit à un maximum ou l'amplitude des battements est très faible. Celle-ci augmente ensuite corrélativement à un ralentissement du rythme. De plus, on remarque une alternance de phases rapides et lentes au moment du retour vers la normale. C'est un phénomène souvent décrit chez les insectes (Queinnec, 1973; McCann, 1970).

La variation des amplitudes peut être quantifiée en sommant celles-ci minute par minute (figure 3). Dès la remise dans l'air, cette quantité n'est pas nulle et un phénomène d'autoaccélération suit. Le meilleur modèle n'est pas une exponentielle mais une hyperbole. Ce type de courbe suggère aussi la libération de sites.

Des expériences similaires ont été réalisées sur les papillons. La figure 4a montre la courbe de restauration d'un papillon mâle anesthésié au CO₂ pur. Le résultat est iden-

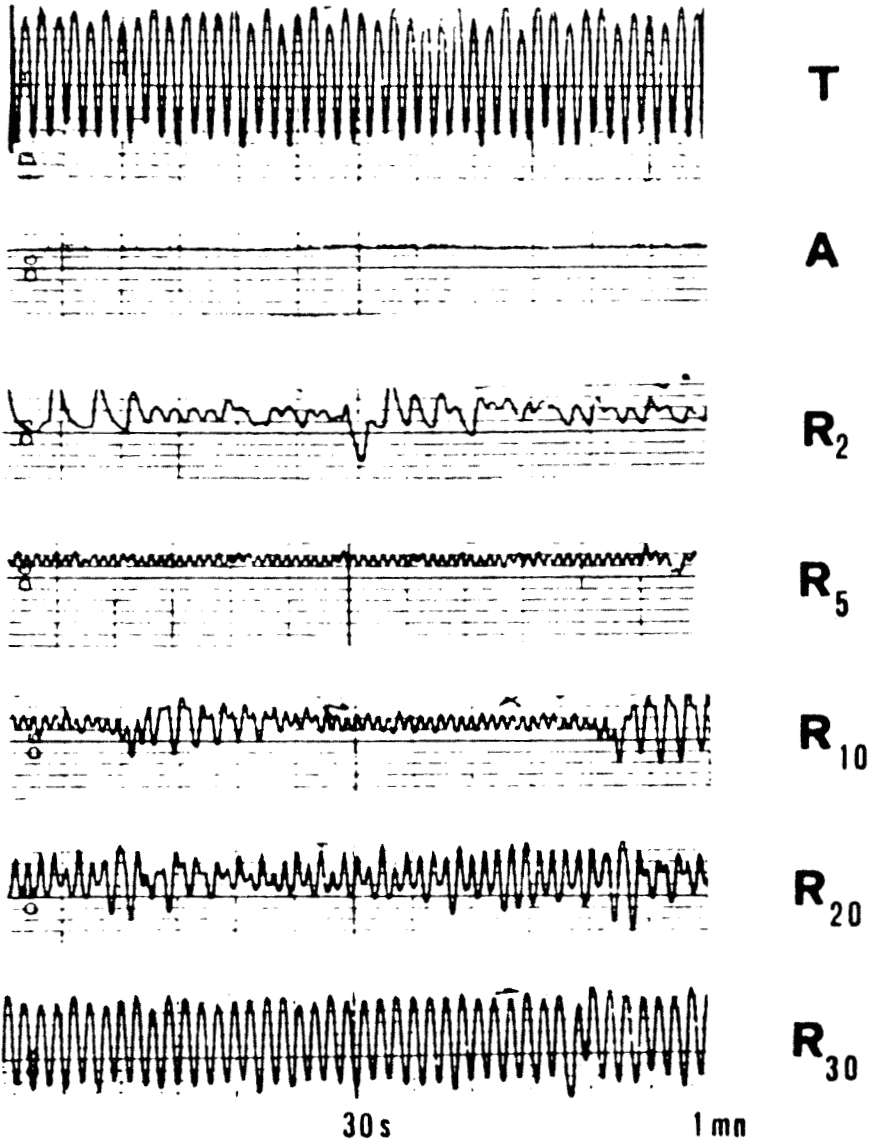


Figure 2. Enregistrement des battements cardiaques d'une larve anesthésiée au CO_2 pur durant 10 minutes. T = témoin, A = anesthésie, R = récupération. L'indice de R donne le temps écoulé depuis la remise dans l'air (R_{20} = vingtième minute de récupération).

tique et quel que soit le sexe, on peut calculer une courbe moyenne (figure 4b, sur 15 individus). Lorsque l'insecte a retrouvé un rythme normal, on observe une périodicité dans celui-ci (figure 4a). Tous les individus étudiés ont montré ce phénomène qui est dû au fait que dans les conditions normales, le rythme de l'adulte n'est pas stable mais présente des phases rapides et d'autres lentes.

Ce phénomène souvent observé chez les insectes est parfois lié au sens de circulation. Nous avons bien observé des renversements du sens de circulation mais ceux-ci apparaissent aussi bien dans les phases rapides que lentes.

L'arrêt circulatoire durant l'anesthésie et le maximum durant la récupération sont

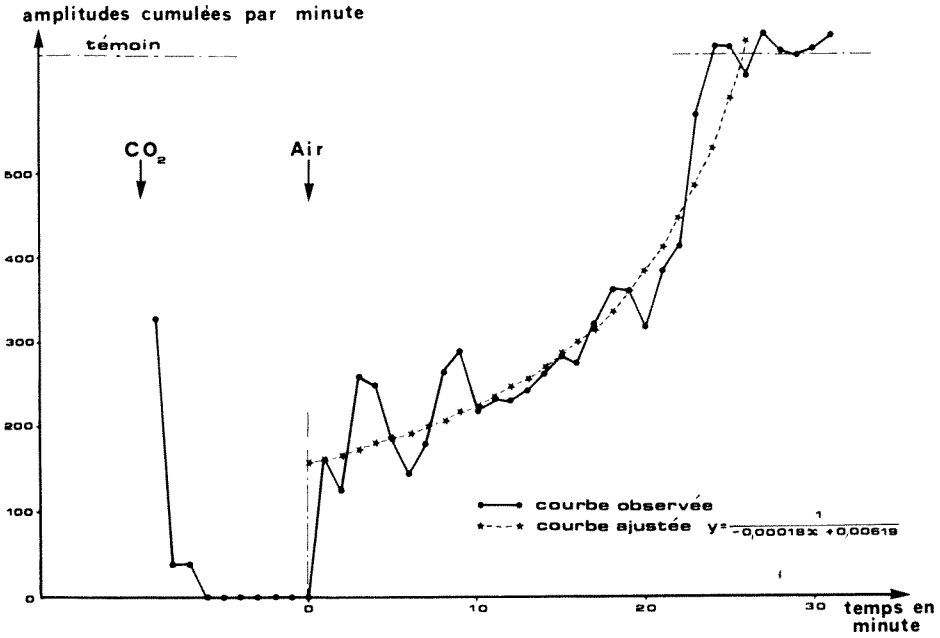


Figure 3. Anesthésie d'une larve au CO₂ pur durant 10 minutes. Variation de la somme des amplitudes des battements cardiaques de chaque minute en fonction du temps.

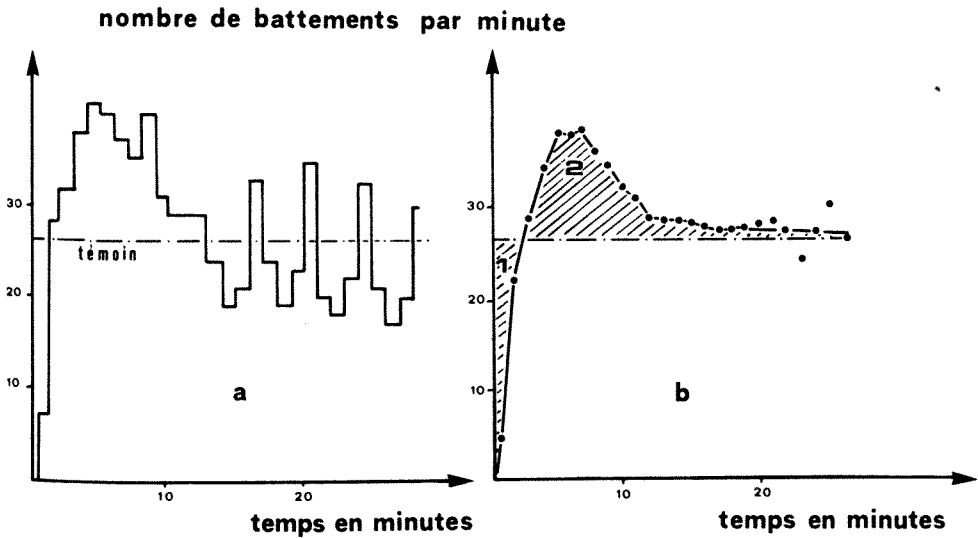


Figure 4. Courbes de récupération après une anesthésie de 10 minutes. a) adulte mâle; b) moyenne de 15 individus adultes (1 = déficit de battements; 2 = excédent de battements).

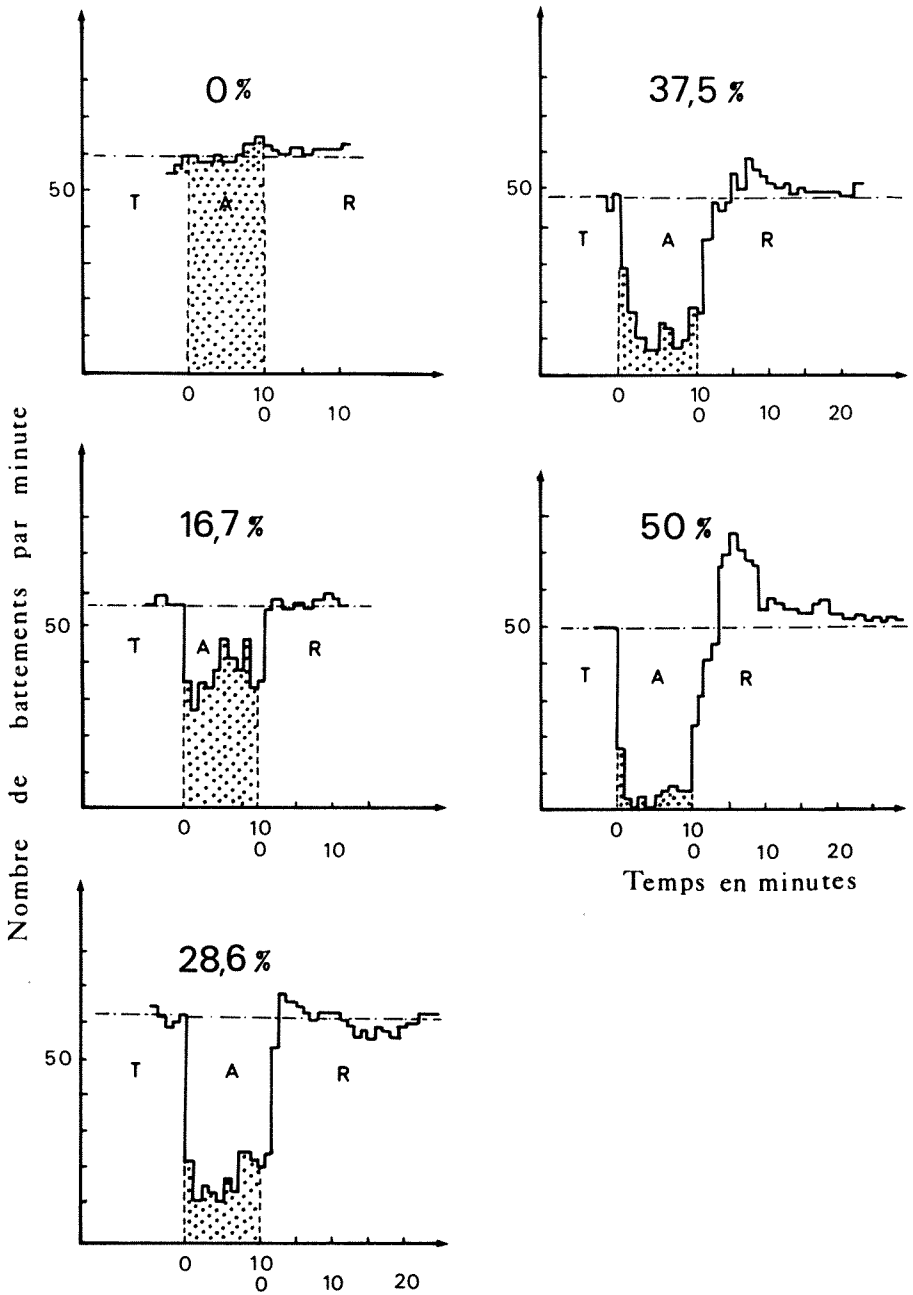


Figure 5. Variation du rythme circulaire en fonction du temps pour un temps d'anesthésie de 10 minutes et 5 taux de CO₂ (exemples individuels).

les deux résultats importants de ces premières expériences.

Le CO₂ comme l'éther provoque l'arrêt cardiaque mais celui-ci est instantané et simultané de l'immobilisation. Au cours de la récupération, la reprise des battements intervient avant la reprise d'activité ce qui, dans l'hypothèse de la myogénéicité du cœur de *Bombyx mori*, indique une action au niveau nerveux.

Ceci nous conduit à considérer les mécanismes d'action de l'anhydride carbonique. Il a souvent été envisagé une action déterminante au niveau respiratoire (anoxie). Une manière de le tester est de fournir aux insectes une quantité d'oxygène au moins égale à ce qu'elle est dans l'air. Nous avons réalisé de telles expériences ou l'action de mélanges O₂-CO₂ est testée. La figure 5 présente des réponses individuelles correspondant à une anesthésie de 10 minutes et à différents taux de CO₂. Le rythme circulaire est d'autant plus ralenti que le taux de CO₂ est plus fort. Au cours de la récupération, le maximum est d'autant plus marqué

que le taux de CO₂ est plus fort. Pour un mélange de 50%-50%, on a un effet analogue au CO₂ pur. La figure 6 représente des réponses pour 50% et pour différents temps d'anesthésie. Le phénomène est d'autant plus marqué que la durée de l'anesthésie est plus grande.

Ces derniers résultats indiquent que, avec des mélanges 50%-50%, on obtient un résultat analogue au CO₂ pur. Il apparaît que l'action du CO₂ ne peut être reliée à un simple phénomène respiratoire puisque, dans le cas du mélange, les insectes ont à leur disposition une quantité d'oxygène bien supérieure à ce qu'elle est dans l'air. On ne peut dans ce cas parler d'anoxie. Nous avons par ailleurs montré que la consommation d'oxygène de *Drosophila melanogaster* n'est pas modifiée au cours de la récupération suivant une anesthésie au CO₂ (Sillans, 1978).

Une autre manière d'étudier l'anoxie est de remplacer le CO₂ par de l'azote. L'azote pur ne provoque pas d'arrêt cardiaque mais seulement un ralentissement du rythme; la récupération est plus rapide et le maximum durant celle-ci est beaucoup moins marqué que pour une anesthésie équivalente au CO₂ (10 min) (figure 7). L'azote est parfois utilisé comme anesthésique.

Discussion

Ne pouvant expliquer le mécanisme d'action de l'anhydride carbonique par un simple phénomène respiratoire, on est obligé de se reporter aux mécanismes généraux de l'anesthésie. Nous savons, depuis le siècle dernier, que les anesthésiques agissent au niveau du système nerveux. Comme le fonctionnement nerveux résulte de phénomènes membranaires, il est impossible d'échapper à la conclusion que le site d'action des agents anesthésiques est la membrane.

Les membranes sont formées de lipides et de protéines. Singer et Nicholson (1972) ont proposé de remplacer l'ancien modèle de Davson et Danielli (1943) par le modèle en mosaïque fluide où subsistent les deux couches de phospholipides mais où les protéines apparaissent sous forme d'îlots insérés dans les lipides, cet ensemble étant en équilibre thermodynamique. Il y a donc deux sites possibles de fixation pour les anesthésiques: les protéines et les lipides.

De nombreux mécanismes voisins ont été proposés pour expliquer la narcose par une fixation au niveau lipidique. Un des plus ré-

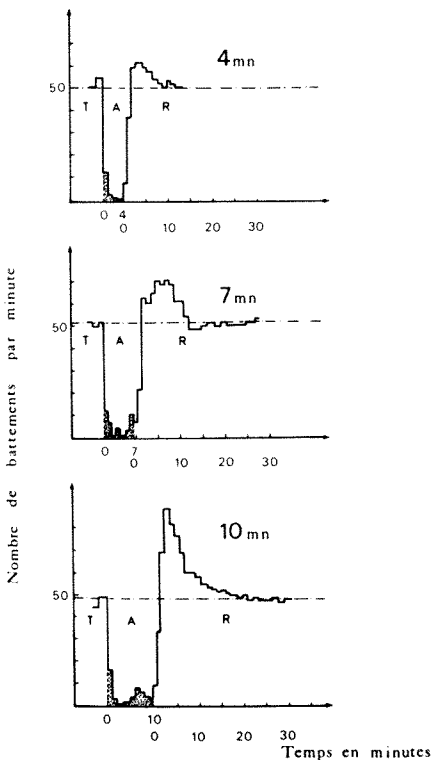


Figure 6. Variation du rythme circulaire en fonction du temps pour 3 durées d'anesthésie et un taux de CO₂ de 50% (exemples individuels).

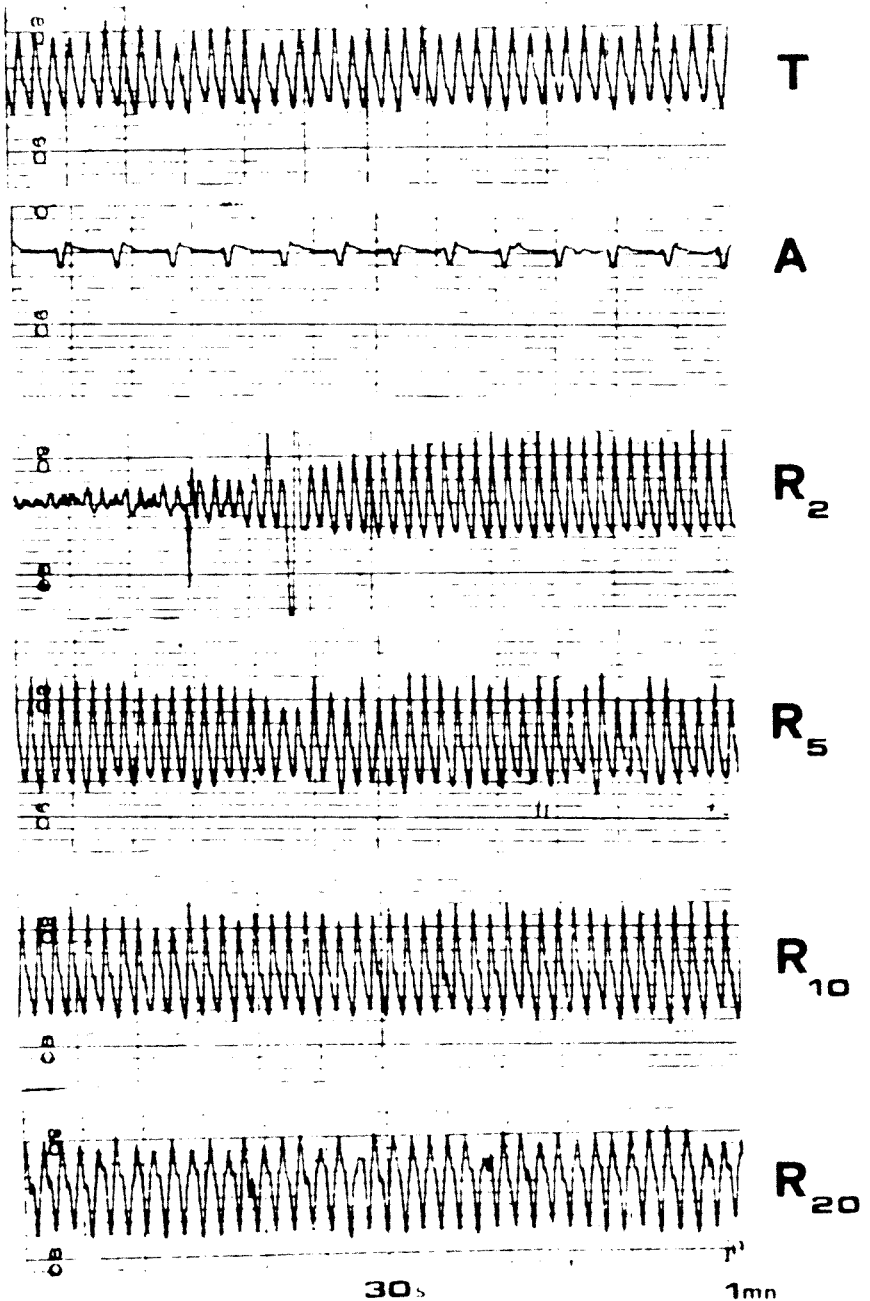


Figure 7. Enregistrement des battements cardiaques d'une larve anesthésiée à l'azote pur durant 10 minutes. A = anesthésie, R = récupération, T = témoin.

cents qui tient compte de toutes les données actuelles est décrit par Trudell (1977). La fixation de l'anesthésique au niveau lipidique déforme la membrane (en particulier, déplace la limite entre les phases fluide et solide qui entourent une protéine) ce qui ne

permet plus le passage des ions Na^+ au niveau des canaux. Il n'y a plus transmission de l'influx nerveux.

On sait que, in vitro, les anesthésiques déforment les couches de phospholipides et

que l'application de fortes pressions redonne un degré d'ordre originel sans en extraire l'anesthésique. In vivo, l'application de fortes pressions inverse l'anesthésie (Miller *et al.*, 1973). Il existe une bonne corrélation entre le pouvoir d'un anesthésique et sa solubilité dans les lipides.

Il en existe une autre entre le pouvoir d'un anesthésique et son aptitude à former des microcristaux d'hydrates. Ces microcristaux, en se formant dans les régions protéiques, peuvent interférer avec les mouvements d'ions et de médiateurs (Seeman, 1975). L'intérêt de ce mécanisme c'est qu'il permet d'expliquer l'anesthésie par le froid des poikilothermes, l'hibernation naturelle ou artificielle des homéothermes. En effet, à basse température, les cristaux d'hydrates sont stables et n'ont pas besoin d'être stabilisés par les agents anesthésiques.

Nous avons vérifié sur *Drosophila melanogaster* que la puissance de l'anesthésie au CO₂ diminue lorsque la température augmente ce qui est en accord avec les théories des microcristaux d'hydrates (Pauling, 1961 et Miller, 1961). Cependant, la solubilité de l'anhydride carbonique dans les lipides diminue lorsque la température augmente. Il apparaît que les expériences en fonction de la température ne permettent pas de trancher quand au site d'action. Leur intérêt, c'est qu'elles ne rejettent pas la possibilité de fixation de l'anesthésique au niveau membranaire.

Les théories précédemment décrites sont physiques et ont été proposées pour expliquer l'action d'anesthésiques, comme le xénon, qui ne participent pas à des réactions chimiques ordinaires et ne forment pas des liaisons hydrogène mais seulement des liens plus faibles connus globalement sous le nom de forces de Van Der Waals.

L'anhydride carbonique peut participer à des liaisons hydrogène, il a cependant la propriété commune à de nombreux anesthésiques: il peut former des cristaux d'hydrates. L'hydrate de CO₂ n'est en fait que de l'acide carbonique, on doit donc avoir acidification. Chez les vertébrés, l'anesthésie par l'anhydride carbonique provoque une baisse du pH du liquide rachidien (Eisele *et al.*, 1967). In vitro, la baisse de pH due au CO₂ modifie les réponses des neurones viscéromoteurs de l'aplysie (Brown, 1972). Chez les insectes, Fuzeau-Braesch (1976) a montré que, lors d'une anesthésie au CO₂, la plus grande partie est rejetée très rapide-

ment et ce qui reste est principalement fixé au niveau nerveux. Il semble bien que l'action déterminante du CO₂ se trouve au niveau du système nerveux et que cette action peut être indirecte et due à une modification du pH.

Une manière de décider entre une action au niveau nerveux qui donne des réponses rapides et une autre au niveau métabolique à réponses lentes est de fournir une suite d'excitations et non une action continue. C'est pourquoi nous avons réalisé des anesthésies périodiques (Sillans, 1978). L'insecte est soumis à un taux de CO₂ qui varie de manière sinusoïdale avec des périodes variant de 1 à 8 minutes. On observe que le ver à soie module son rythme cardiaque en fonction du taux de CO₂; au minimum de CO₂ correspond le maximum de battements. La réponse est immédiate et suggère un mécanisme nerveux.

Cette étude montre finalement que si l'intervention spécifique du CO₂ au niveau respiratoire est à rejeter, il est par contre probable que ce produit provoque la formation d'acide carbonique. Le vaisseau dorsal des insectes est sensible au pH. L'amplitude du battement peut être modifiée par les acides et les bases. D'une manière générale, les acides dilatent le vaisseau dorsal et ralentissent le rythme cardiaque, les bases au contraire le rétrécissent et accélèrent le rythme (Jones, 1964). On sait que le CO₂ change la perméabilité des membranes en modifiant le pH intracellulaire (Baker et Honerjager, 1978). Chez les insectes, le CO₂ modifie la réponse visuelle et c'est un effet spécifique car l'acidification artificielle ne produit pas les mêmes effets (Stone, 1974). En dehors de l'acidification, les microcristaux d'hydrates peuvent avoir une action purement physique au niveau des membranes nerveuses. D'ailleurs les seuls produits, normalement présents dans le corps des insectes, connus pour avoir une action soit inhibitrice soit accélératrice (suivant leur concentration) du rythme cardiaque chez les insectes sont précisément les ions Na⁺ et K⁺, l'acétylcholine et l'adrénaline qui sont les responsables du fonctionnement nerveux (Jones, 1964).

Admettre un mécanisme physique ne signifie pas qu'il n'y a pas d'autres conséquences. Nous avons montré qu'il y avait une corrélation entre le taux de cAMP et le rythme circulaire au cours de l'anesthésie (Sillans, 1978). Certains auteurs envisagent que cAMP pourrait avoir un rôle direct lors

de la narcose. En fait, rien actuellement permet d'affirmer que c'est une conséquence de l'anesthésie et non pas la cause.

Vue que le CO₂ est normalement un produit de rejet de la fonction respiratoire, l'insecte peut subir dans son milieu naturel des augmentations de la concentration en CO₂. Nous avons vu qu'il adapte son rythme circulaire en fonction de la constitution atmosphérique environnante. Il apparaît que la réponse à l'anesthésie est une mesure de la réaction de l'insecte à des changements de condition de son milieu. Pour des taux importants, c'est une réponse à un stress aigu.

Conclusion

Le CO₂ et l'éther ont des effets analogues chez *Bombyx mori* et amènent un arrêt cardiaque et une accélération du rythme cardiaque au cours de la récupération. Tout en provoquant les mêmes blocages, ces deux anesthésiques n'agiraient pas forcément de la même façon. En ne formant pas de microcristaux d'hydrates, l'éther exercerait son action directement au niveau des membranes et indirectement au niveau des protéines. Par contre, le CO₂ agirait (1) indirectement au niveau des membranes par acidification et (2) directement au niveau de celles-ci soit en solution dans les lipides (action indirecte au niveau des protéines) et/ou en formant des microcristaux (action directe au niveau des protéines). Il apparaît que nous n'avons pu mettre en évidence une action spéciale du CO₂ par rapport aux autres anesthésiques classiques qui agissent au niveau du système nerveux.

Remerciements

Ce travail a pu être réalisé grâce à la collaboration de Jean Biston du laboratoire d'automatique. L'auteur remercie Mme Annie Heizmann pour son aide technique ainsi que les secrétaires de biométrie de l'Université Claude-Bernard et du département de biologie de l'Université Laval (Canada), qui ont réalisé la dactylographie.

Références

- BAKER, P. F. and HONERJAGER, P. 1978. Influence of carbon dioxide on level of ionised calcium in squid axons. — *Nature*, 273: 160-161.
- BERNARD, C., 1875. Leçons sur les Anesthésiques et sur l'asphyxie. Paris.
- BISTON, J. et D. SILLANS. 1976. Étude à l'aide d'un composant photosensible des variations du rythme circulaire des chenilles de *Bombyx mori* soumises à une anesthésie à l'éther. — *Ent. Exp. et Appl.*, 19: 255-262.
- BROWN, A. M., 1972. Effects of CO₂ and pH on neuronal membranes. — *Fedn Proc.*, 31: 1399-1403.
- DAVSON, H. and J. H. DANIELLI. 1943. The permeability of natural membranes. London, Cambridge University Press.
- EISELE, J. H., E. I. EGER and M. MUALLEM. 1967. Narcotic properties of carbon dioxide in dogs. — *Anesthesiology*, 28: 857.
- FUZEAU-BRAESCH, S., 1976. Effets du gaz carbonique sur les insectes. — *Compte rendu D.G.R.S.T.*, 1-17.
- JONES, J. C., 1964. The circulatory system of Insects, p. 2-107 in: Rockstein, M. (ed.). *The physiology of Insecta*, 1st ed., Vol. III, 1. Academic Press, N.Y.
- McCANN, F. V., 1970. Physiology of insect hearts. — *A. Rev. Ent.*, 15, 173-200.
- MILLER, K. W., W. D. N. PATON, and R. A. SMITH, 1973. The pressure reversal of general anesthesia and the critical volume hypothesis. — *Mol. Pharmacol.*, 9: 131-143.
- MILLER, S. L., 1961. A theory of gaseous anesthetics. — *Proc. natn. Acad. Sci. U.S.A.*, 47: 1515-1524.
- MILLER, T. A., 1973. Electrophysiology of the insect heart, p. 169-200 in: Rockstein, M. (ed.), *The physiology of Insecta*, 2nd Ed., Vol. IV. Academic Press, N.Y.
- NEEDHAM, A. E., 1950. The neurogenic heart and ether anesthesia — *Nature London*, 166: 9-11.
- PAULING, L., 1961. A molecular theory of general anesthesia — *Science*, 134: 15-21.
- QUEINNEC, Y., 1973. Sur le rôle modulateur de l'état physiologique dans les réponses à des stimulus significatifs chez les insectes. — Thèse doctorat État, Toulouse.
- SEEMAN, P., 1975. The membrane expansion theory of anesthesia, p. 243-252 in: Fink, B.R. (ed.), *Progress in anesthesiology*. Raven Press, N.Y.
- SILLANS, D., J. ESTEVE et J. M. LEGAY, 1969. Influence de l'anesthésie à l'anhydride carbonique sur le rythme circulaire des chenilles de *Bombyx mori*. — *C. r. Acad. Sci. Paris*, 269: 1209-1212.
- SILLANS, D. et J. BISTON, 1976. Effets de l'anesthésie à l'éther sur le rythme circulaire des adultes du lépidoptère *Bombyx mori*. — *C. r. Acad. Sci. Paris*, 282: 293-296.

- SILLANS, D., 1978. Contribution à l'étude des mécanismes et des effets de l'anesthésie chez les Insectes. — Thèse doctorat État, Lyon.
- SINGER, S. J. and G. L. NICHOLSON, 1972. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. — *Science*, 175: 720-731.
- STONE, G. G., 1974. Mécanismes of action of CO₂ on the visual response of *Galleria mellonella*. — *J. Insect Physiol.*, 20: 485-496.
- TRUDELL, J. R., 1977. A unitary theory of anesthesia based on lateral phase separations in nerves membranes. — *Anesthesiology*, 46: 5-10.

COMMUNICATIONS BRÈVES

SOCIAL ORGANIZATION AS AN ANTI-PREDATOR STRATEGY IN FISH

D. TREMBLAY and G. J. FITZGERALD

Département de biologie, Université Laval, Québec, Canada, G1K 7P4

Résumé

L'efficacité d'un prédateur, le piranha commun, *Serrasalmus spilopleura*, en présence de zebra danios, *Brachydanio rerio*, formant des bancs et de poissons rouges, *Carassius auratus*, ne formant pas de bancs, a été évaluée en fonction de la distribution et de la densité de proies. Le prédateur a effectué un plus grand nombre d'attaques et a été significativement plus efficace contre les poissons ne formant pas de bancs.

Abstract

The efficiency of a predator, the common piranha, *Serrasalmus spilopleura*, preying upon various densities of schooling zebra danios, *Brachydanio rerio*, and non-schooling goldfish, *Carassius auratus*, was evaluated as a function of prey density and distribution. The predator made more attacks and was significantly more successful against non-schooling than against schooling fish.

Introduction

Many fish live at least part of their lives in schools where a school is defined as a group in which animals stay together because they show positive social responses to each other and not because they are responding to a common external factor (Shaw, 1978). Although schooling is probably polyfunctional (Radakov, 1973), the most common hypothesis is that it evolved as an antipredator strategy (see Shaw, 1978). Yet there is relatively little supportive experimental evidence for this hypothesis. The value of schooling as a deterrent to predation can be verified only if non-schoolers are more susceptible to predation when schooling and non-schooling fish of comparable size are exposed to the same predator.

To examine this hypothesis, we compared the efficiency of a predator, a piranha, *Serrasalmus spilopleura*, when given various densities of schooling zebra danios (*Brachydanio rerio*) and non-schooling goldfish (*Carassius auratus*). Zebra danios formed cohesive schools in that individuals stayed together, tended to head in the same direc-

tion, had even spacing, and the activities of individuals tended to be synchronized, particularly in the presence of predators. On the other hand, goldfish formed loose groups of uneven spacing and showed little synchronization.

Methods

The piranha, age unknown, about 10 cm fork length was housed in a 230 l aquarium (0,5 m long, 1,5 m wide and 0,5 m depth) which also served as the experimental chamber. The aquarium was maintained at conditions of pH 6,8, photoperiod (12L:12D), and water temperature of $25^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Goldfish averaged 3,5 cm in total length (2,5-3,9 cm) and zebra danios 3,0 cm (2,5-3,4 cm). Groups of 1, 10, 20, 40 and 80 individuals of one of the two prey species were exposed to the predator at 1600 hours for 30 minutes each day or until the predator consumed a prey. The order of presentation of the two prey species and their respective densities were randomized and each treatment replicated five times. Following an experimental session surviving prey were returned to holding aquaria having similar physico-

chemical conditions as the experimental chamber. To measure dispersion of the prey, we divided the aquarium into 18 equal sized squares by marking with a grease pen on the wall of the aquarium facing the observer who was hidden behind a blind. At the beginning and end of each session, photos were taken of the fish to determine the number of fish in each square from which the variance: mean ratio was calculated and used as a measure of dispersion (Taylor, 1961). A coefficient of dispersion of one indicates random dispersion while values greater than one indicate clumping.

To determine if single prey were equally vulnerable, the time necessary to attack and kill a single prey was calculated based on five replicates. To compare the number of attacks directed against each species, data were corrected for differences in predator-prey exposure time, and analysed by two way anova of log transformed data.

Results and discussion

The piranha attacked goldfish significantly more often than zebra danios (Table I). The number of attacks against the goldfish tended to decrease with increasing group size while the opposite was true for zebra danios, however a linear regression of these variables was not significant. Although increasing the group size is probably responsible in part for the greater cohesiveness, zebra danios were always more cohesive than goldfish for similar group sizes. Differences in time to capture prey of each

species required no statistical test as the predator was able to capture only one zebra danio.

The lack of success evidenced by the piranha against schooling zebra danios supports the hypothesis that schooling behavior is a deterrent to predation. Although not quantified it appeared that the velocity and duration of chases against zebra danios was less than for equal numbers of goldfish. However, the fact that increasing the density increased the time necessary to capture a goldfish suggests there exists a density effect independent of schooling behavior *per se*. At the two higher densities, the goldfish formed small groups throughout the tank superficially resembling schools although differing from real schools in that the numbers in the groups changed during the observation periods and individuals were not orientated in the same direction.

Although zebra danios were slightly smaller than the goldfish and may swim faster (Breder and Halpern, 1946) we believe that the greater vulnerability of goldfish was not simply due to differences in locomotory ability, but was due to differences in social organizations. Single goldfish and single zebra danios were both easily caught by the much faster piranha. Schooling zebra danios received fewer attacks per unit time than did goldfish possibly due to inhibition to attack a cohesive group (Eibl-Eibesfeldt, 1970).

The use of only one piranha restricts generalizability concerning this species

TABLE I

Predatory response of the common piranha on schooling (*B. rerio*) and non-schooling (*C. auratus*) fish

Prey group size	<i>C. auratus</i>			<i>B. rerio</i>		
	Time to predation in mins. ¹	Number of attacks/ 30 min. ^{1,2}	Coefficient of dispersion ³	Time to predation in mins. ¹	Number of attacks/ 30 min. ¹	Coefficient of dispersion ³
1	2,02 ± 0,17	1	—	2,2 ± 0,36	1	—
10	11,3 ± 0,94	30,0 ± 2,16	1,0 (0,9 - 1,1)	n.c. ⁴	6,3 ± 3,09	5,9 (5,1 - 8,09)
20	17,7 ± 4,52	24,8 ± 4,57	1,9 (1,7 - 2,2)	n.c.	7,8 ± 2,50	6,0 (4,5 - 9,5)
40	19,0 ± 2,17	13,0 ± 2,58	2,4 (2,6 - 3,5)	3,46 ⁵	7,3 ± 2,75	9,4 (9,1 - 9,7)
80	22,2 ± 10,46	17,5 ± 9,68	5,4 (5,3 - 5,6)	n.c.	19,8 ± 4,92	15,1 (14,1 - 17,1)

¹ Data are means ± s.d.

² Corrected for differences in predator-prey exposure times.

³ Data are means of 5 replicates: values in brackets indicate the range.

⁴ No captures.

⁵ Prey captured in one session.

hunting behavior, but its feeding in our experiments agreed closely with that of Markl (1972) who also studied piranhas feeding in aquaria.

Acknowledgements

We thank Jeremy McNeil for useful criticism of two versions of the manuscript. Cyrille Barrette and Jacques Bovet commented on an earlier draft. M.H.A. Keenleyside kindly provided English translations of several German papers on piranhas. The work was supported by a National Research Council of Canada grant to G.J.F.

References

- BREDER, C. M. and F. HALPERN, 1946. Innate and acquired behavior affecting aggregation of fishes. — *Physiol. Zool.*, 19: 154-190.
- EIBL-EIBESFELDT, I., 1970. *Ethology*. Holt, Rinehart and Wilson, New York, 530 p.
- MARKL, H., 1972. Aggression und Beuteverhalten bei Piranhas (Serrasalminae Characidae). — *Z. Tierpsychol.*, 30: 190-215.
- RADIAKOV, D. V., 1973. Schooling in the ecology of fishes. Halstead Press, New York, 173 p.
- SHAW, E., 1978. Schooling fishes. — *Am. Scientist.*, 66: 166-175.
- TAYLOR, L. R., 1961. Aggregation, variance, and the mean. — *Nature*, 189: 732-735.

NOTE SUR LA BIOLOGIE DE *MUGIL CEPHALUS* (L.) DU NORD DU PORTUGAL : VARIATIONS ANNUELLES DES RAPPORTS POIDS-LONGUEUR, DU RAPPORT HÉPATOSOMATIQUE ET DU COEFFICIENT DE CONDITION¹

Jorge da Costa EIRAS

*Instituto de Zoologia "Dr. Augusto Nobre" Faculdade de Ciências,
Porto, Portugal*

et

Stella CARRAÇA

Instituto de Ciências Biomédicas "Abel Salazar", Porto, Portugal

Dans ce travail on essaie d'analyser les variations annuelles du coefficient de condition (FC), du rapport poids-longueur (RPL) et du rapport hépatosomatique (RHS) d'une population de *Mugil cephalus* (Muge cabot) du nord du Portugal. Les 499 spécimens utilisés ont été pêchés tous les mois (sauf en février et en avril) dans le port de pêche de Matozinhos de novembre 1977 à octobre 1978. Sur tous les spécimens, on a mesuré la longueur totale ($\pm 0,1$ cm), et on a pris le poids total et le poids du foie ($\pm 0,1$ g). Les valeurs RPL, RHS et FC ont été déterminées, pour tous les individus, en employant les formules :

$$RPL = P/L, RHS = PF/PS \text{ et } FC = P/L^3$$

dans lesquelles «P» représente le poids total, «L», la longueur totale, «PF», le poids du foie, et PS, le poids somatique moins le poids du foie. Pour chacune des relations on a calculé la valeur mensuelle moyenne. Pour analyser l'évolution des valeurs de P, FC et PF avec la longueur on a déterminé les droites de régression pour un des mois de prélèvement (janvier). Les valeurs des coefficients de corrélation (r) ont été examinées pour le niveau $P = 0,05$.

Résultats

RAPPORT POIDS — LONGUEUR

Il y a une corrélation significative entre les valeurs du poids et celles de la longueur (fig. 1), l'augmentation du poids étant plus grande pour les classes de taille petites que pour les plus élevées. À un accroissement de

longueur de 19 cm à 22 cm correspond une augmentation de poids de près de 100 g. On observe sensiblement la même augmentation pondérale pour un accroissement de 22 cm à 27 cm. Les valeurs moyennes mensuelles de RPL présentent une nette variation saisonnière (tab. I, fig. 2) : la valeur, maximale en novembre (8,55), décroît de janvier à mars et atteint son minimum en mai (4,16) ; puis elle augmente de nouveau à compter de juin et s'accroît jusqu'en octobre.

COEFFICIENT DE CONDITION

On ne trouve pas de corrélation significative entre les valeurs de FC et celles de la longueur (fig. 1). Cependant les valeurs moyennes mensuelles de FC présentent une variation saisonnière sensiblement parallèle à celle des valeurs de RPL (tab. I, fig. 2). La valeur la plus élevée est celle de novembre (1,02) ; elle décroît ensuite jusqu'à mai (0,91), puis augmente en juin, reste la même en juillet et recommence à croître jusqu'en octobre.

RAPPORT HÉPATOSOMATIQUE

On note une corrélation significative entre les valeurs du poids du foie et celles de la longueur (fig. 3), mais il n'y a pas de variation saisonnière aussi évidente pour le rapport poids-longueur. La valeur de RHS augmente en novembre et en décembre, puis décroît en janvier ; elle s'accroît de nouveau de mars à mai, mois où elle est la plus grande (2,57). En juin, juillet et août les valeurs sont inférieures à celles de mai ; il y a

¹ Ce travail fait partie du programme de recherches du «Centro de Ecologia» EcPI et a été subventionné par l'INIC. Le premier auteur appartient au «Centro de Ecologia».

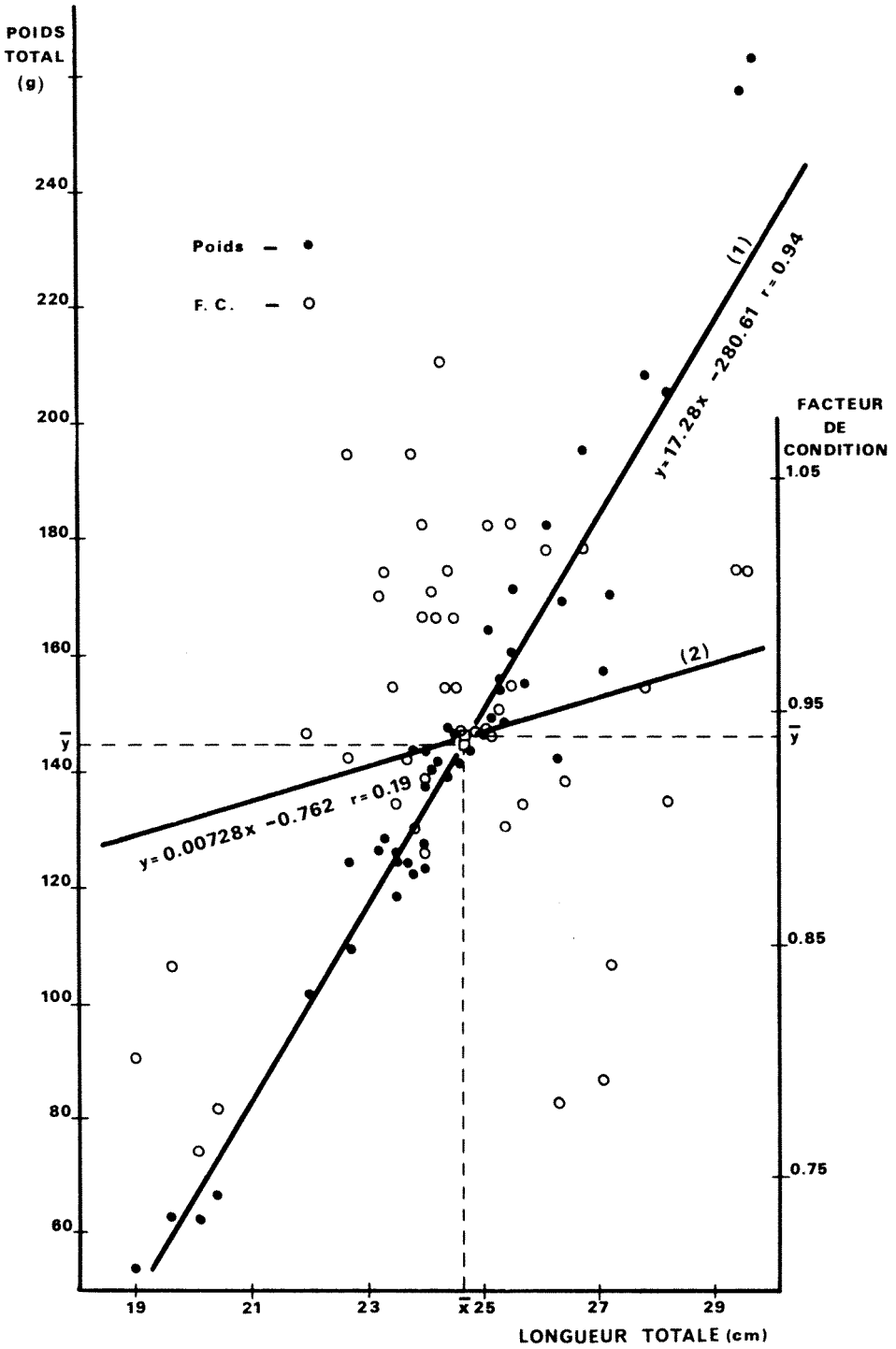


Figure 1. Droites de régression entre le poids total et la longueur totale (1) et entre le facteur de condition et la longueur totale (2).

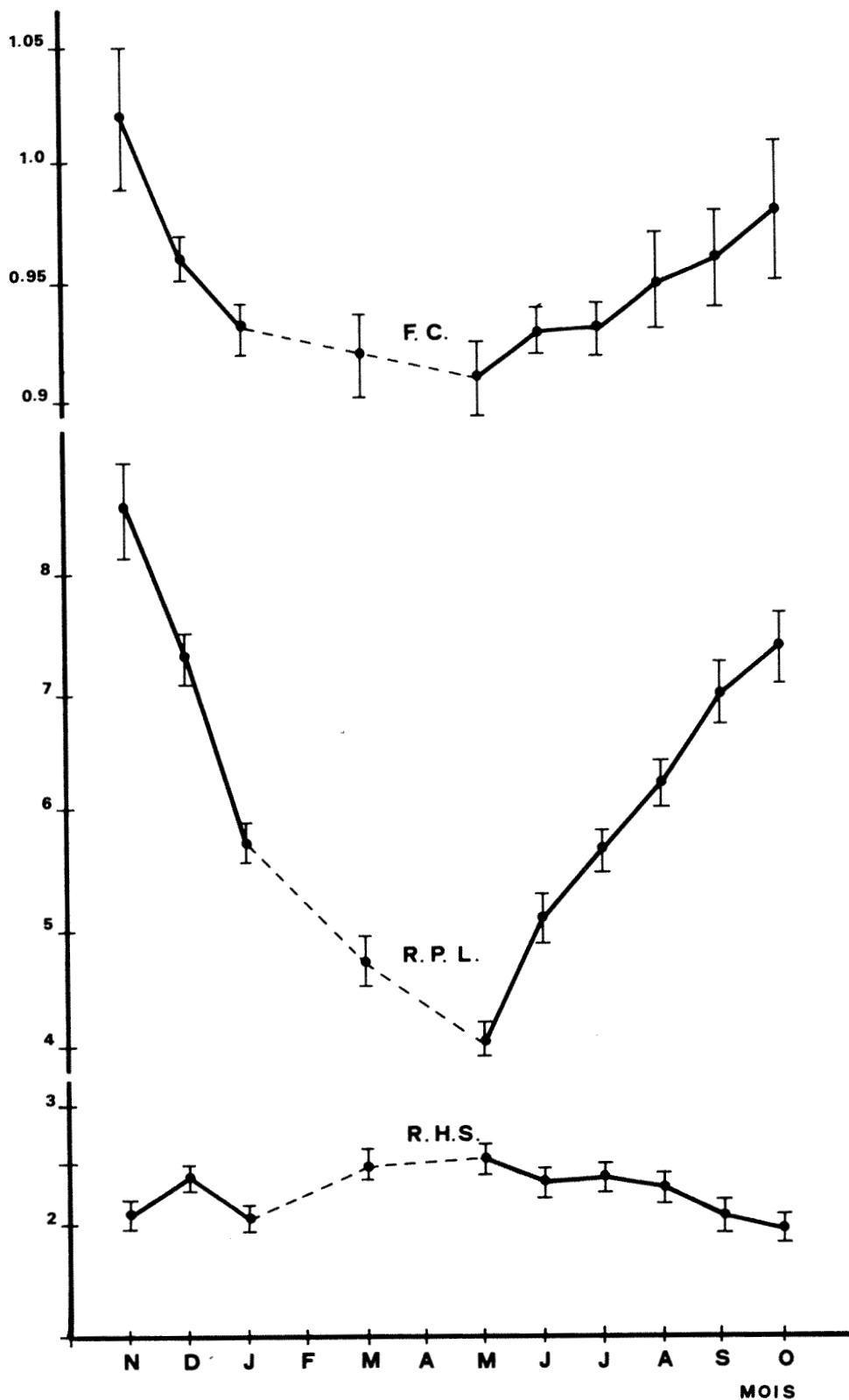


Figure 2. Variations saisonnières du rapport poids-longueur (RPL), du coefficient de condition (FC) et du rapport hépatosomatique (RHS). Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

TABLEAU I

Valeurs mensuelles moyennes du rapport poids-longueur (RPL),
du rapport hépatosomatique (RHS) et du coefficient de condition (FC)
de *Mugil cephalus* aux différents mois de l'année

	Nov.	Déc.	Jan.	Mars	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
RPL	8,55 ± 0,45	7,34 ± 0,23	5,76 ± 0,16	4,74 ± 0,19	4,16 ± 0,18	5,12 ± 0,21	5,69 ± 0,19	6,28 ± 0,22	7,04 ± 0,24	7,43 ± 0,33
RHS	2,09 ± 0,12	2,21 ± 0,10	2,06 ± 0,09	2,51 ± 0,09	2,57 ± 0,13	2,36 ± 0,11	2,40 ± 0,10	2,30 ± 0,11	2,19 ± 0,12	1,99 ± 0,13
FC	1,02 ± 0,031	0,96 ± 0,011	0,93 ± 0,011	0,92 ± 0,018	0,91 ± 0,015	0,93 ± 0,012	0,93 ± 0,011	0,95 ± 0,02	0,96 ± 0,02	0,98 ± 0,03

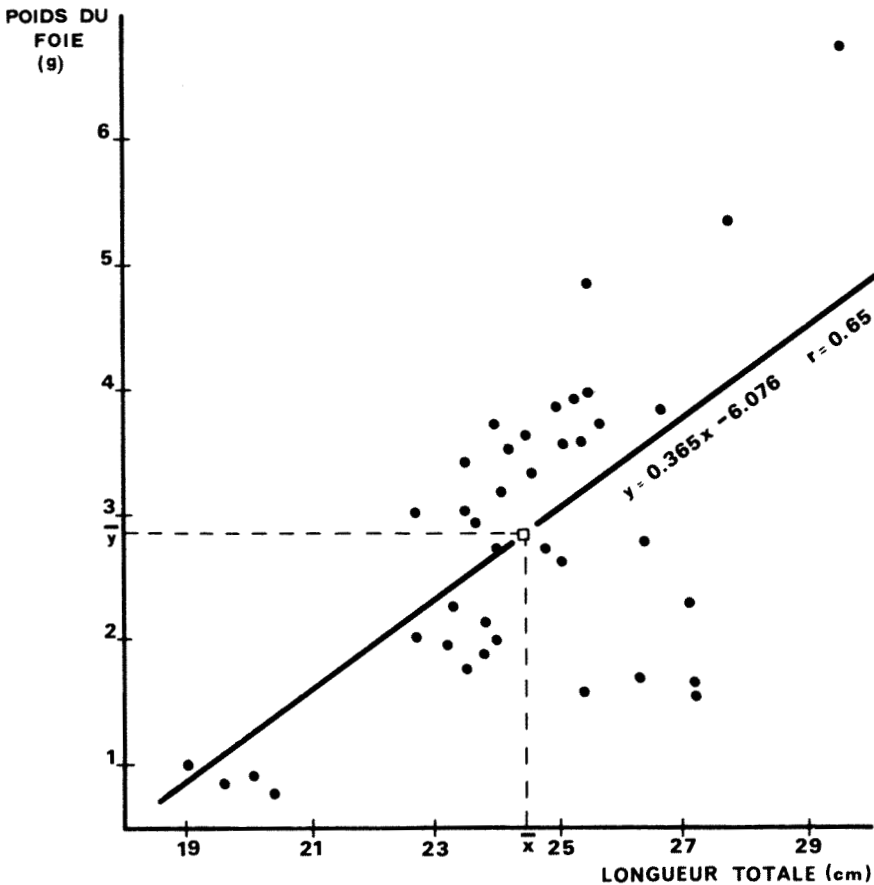


Figure 3. Droite de régression entre le poids du foie et la longueur totale.

encore diminution en septembre et octobre, mois où se vérifie la plus petite valeur.

L'époque de reproduction, pour le genre *Mugil*, varie avec l'espèce: d'octobre à novembre pour *M. ramada*, de février à mars pour *M. labrosus*, en Tunisie (Farrugio et al., 1973), et de novembre à janvier pour *M. c. ashentensis*, sur les côtes de la Mauritanie (Brulhet, 1975). D'après nos observations, la reproduction de *M. cephalus*, au nord de Portugal, doit avoir lieu en novembre et décembre, époque où se vérifient les plus grandes valeurs de la relation gonadosomatique.

Le fait que les gonades sont plus matures en novembre et décembre et, conséquemment, plus volumineuses et plus lourdes, est sans doute l'un des facteurs qui influencent les valeurs de RPL et FC, les plus grandes étant obtenues durant ces mois.

La corrélation négative entre les valeurs de RHS et celles de la relation gonadosomatique correspond certainement à la mobilisation des réserves énergétiques dans le

foie, à l'époque du développement des gonades.

Références

- ALBUQUERQUE, R. M., 1954-56. Peixes de Portugal e Ilhas Adjacentes. Chaves para a sua determinação. — Port. Acta biol., 5.
- BRULHET, J., 1975. Observations on the biology of *Mugil cephalus-ashentensis* and the possibility of its aquaculture on the Mauritanian coast. — Aquaculture, 5(3): 271-281.
- FARRUGIO, H. et J.-P. QUIGNARD, 1974. Biologie de *Mugil (Liza) ramada* Risso, 1826 et de *Mugil (Chelon) labrosus* Risso, 1826 (Poissons, Téléostéens, Mugillidés) du lac de Tunis: Âge et croissance. — Bull. Inst. océanogr. Pêche, Salammbô, 3 (1-4): 139-152.
- FARRUGIO, H. et J.-P. QUIGNARD, 1973. Biologie de *Mugil (Liza) ramada* Risso, 1826 et de *Mugil (Chelon) labrosus* Risso, 1826 (Poissons, Téléostéens, Mugillidés) du lac de Tunis. Taille de première maturation sexuelle, cycle et fécondité. — Bull. Inst. océanogr. Pêche, Salammbô, 2(4): 565-578.

REVUE DES LIVRES

OLAH, G. M., O. REISINGER et G. KILBERTUS, 1978. **Biodégradation et humification: atlas ultrastructural.** Les Presses de l'Université Laval, Québec; Librairie Vuibert, Paris. 331 p., 199 fig. 22 × 29 cm. Relié, prix non indiqué.

Au cours de ces dernières années le développement de la microscopie électronique a permis d'acquérir une connaissance approfondie des structures cellulaires impliquées dans les grands phénomènes biologiques. De nombreuses données concernant la biodégradation ont été recueillies mais à ce jour les résultats sont dispersés dans de nombreuses publications. Sur ce sujet, Olah, Reisinger et Kilbertus réalisent une première synthèse qui comprend: la description détaillée des microorganismes responsables et la définition des différentes étapes de la décomposition des Champignons, des Algues, des Bryophytes et des Phanérogames; un schéma d'ensemble de la biodégradation et de l'humification est aussi proposé.

L'ouvrage est bien présenté. Une préface du Doyen Martin de la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation du Québec met en évidence la portée générale des travaux réalisés par les auteurs et souligne la préoccupation actuelle de nombreux scientifiques: «répondre aux besoins alimentaires d'une population en pleine expansion». Dans un court avant-propos apparaissent ensuite les grandes lignes de l'ouvrage et les remerciements. L'introduction montre l'originalité de la méthode d'approche du sujet par rapport aux techniques de l'écologie microbienne traditionnelle. Il est évident que les questions concernant le fonctionnement des écosystèmes ne seront pas élucidées sans la conjonction de techniques très diversifiées. Olah, Reisinger et Kilbertus ont trouvé une méthode originale et qui offre de grandes perspectives. La microscopie électronique permet d'apporter une réponse claire à un certain nombre de questions telles que l'activité des germes, les relations avec le substrat, la présence de spores; on peut aussi ajouter l'état ou l'activité du substrat. L'utilisation simultanée des microscopes électroniques à transmission et à balayage et de techniques plus spécifiques (isolement de germes, cytochimie, autoradiographie, immunologie) permettront dans l'avenir de résoudre un grand nombre de problèmes.

L'atlas est divisé en 7 chapitres. Le chapitre premier présente un schéma général de la biodégradation qui aboutit à l'incorporation au sol des débris organiques et à l'apparition de granules denses assimilés à des substances humiques. Le second chapitre regroupant les principaux organismes responsables de la biodégradation est le

plus important en nombre de pages et d'illustrations (124 p. + 75 fig.). Une large place est donnée aux organismes non chlorophylliens: une trentaine de figures illustrent le groupe des Bactéries, les principaux caractères cytologiques et ultrastructuraux des Champignons sont présentés. À propos de la faune, il convient de noter en particulier les illustrations concernant les Nématodes, organismes saprophages qui se rencontrent dans le sol, associés à d'autres microorganismes. Le troisième chapitre propose le schéma général d'une chaîne trophique: les saprophytes pénètrent dans les tissus sénescents ou morts; les produits résultant du métabolisme fongique entraînent une explosion de la population bactérienne, ces procaryotes décomposent les produits encore présents et les parois fongiques; la faune intervient à plusieurs niveaux par action mécanique ou par l'intermédiaire d'enzymes. Les processus de décomposition des grands groupes végétaux sont exposés dans les quatre derniers chapitres, comprenant plus de 100 pages. La décomposition des Algues offre des caractères particuliers où interviennent rarement les Champignons: les transformations sont ponctuelles et n'entraînent pas la différenciation de plage de lyse mais la désagrégation finale aboutit aussi à la formation des complexes argiles-résidus. Les Champignons peuvent être inoculés dans le sol sous diverses formes. Le produit final de la biodégradation des parois fongiques est formé par des granules qui représentent une source importante de substances humiques. Les Bryophytes se décomposent très lentement. La paroi cellulaire apparaît peu dégradée après plusieurs années d'incubation in situ; l'attaque par les Champignons demeure localisée et se traduit par l'apparition de cavités. Dans le cas des Phanérogames l'action des Champignons se traduit par des processus de pectinolyse, de cellulolyse et de ligninolyse. Dans les premiers stades les Bactéries sont peu nombreuses et se développent probablement à partir des produits du métabolisme fongique. La biodégradation des racines suit des processus proches de ceux des litières bien que dans le sol l'activité fongique soit plus brève.

L'ensemble de l'atlas offre près de 200 clichés pour la plupart réalisés par les auteurs eux-mêmes. Les légendes sont placées en face de chaque figure, les explications sont rédigées en français et en anglais. Les références bibliographiques sont aussi indiquées et se trouvent donc regroupées par thème. Au total la bibliographie reportée à la fin de l'ouvrage comprend 354 références.

Cet atlas s'adresse à un public très varié: microbiologistes, botanistes, écologistes, qu'ils

soient étudiants, enseignants ou chercheurs. Plus largement, il est à conseiller à tous ceux qui s'intéressent aux sciences de la vie et de la nature et aux sciences agronomiques. Fruit d'une étroite collaboration entre la France et le Québec et résultat de recherches assidues, puisse cet ouvrage encourager tous ceux qui ont à cœur de faire progresser la recherche scientifique et de développer la coopération internationale.

Désiré-Georges STRULLU

Université de Rennes
Faculté des sciences biologiques
35042 — Rennes Cedex, France

LANIER, L., P. JOLY, P. BONDOUX et A. BELLE-MERE, 1978. **Mycologie et pathologie forestières**. Tome I, **Mycologie forestière**. Masson, Paris. 504 p., 164 fig. 16 × 24 cm. Cartonné, prix non indiqué.

Bien que l'on disposait au Québec de bons ouvrages généraux de pathologie forestière, en langue anglaise, bien adaptés aux conditions de nos forêts nord-américaines, un traité sur le même sujet mais en langue française nous manquait depuis longtemps. Or cette lacune, que les professeurs, étudiants et forestiers ressentaient, semble au moins partiellement comblée depuis la parution, en 1976, du tome II d'un manuel sur les maladies des arbres et enfin du tome I qui vient de sortir des presses, en 1978. En vue surtout de fournir aux forestiers français, désireux de mieux connaître les divers aspects des affections des arbres, les auteurs avaient résumé dans un premier volume (tome II), les données les plus récentes sur la symptomatologie et les types de dommages qu'elles engendrent. Mais afin de présenter un tableau plus complet de ce vaste domaine, notamment sur les Fungi ou Mycètes qui causent le plus grand nombre de ces affections et dégradations du bois et qui jouent des rôles variés en tant qu'agents actifs de la décomposition des débris ou d'associés symbiotiques des arbres, ils considéraient essentiel de consacrer un volume entier à ces organismes. Or depuis la publication, en France, des grands traités de mycologie de Viennot-Bourgin, en 1949, et de F. Moreau, en 1952 et 1954, sans tenir compte des ouvrages volumineux sur les Fungi charnus de Kühner et Romagnesi (1953), de R. Heim (1955) de Konrad et Maublanc (1948), il devenait urgent de remettre à jour ce secteur de l'histoire naturelle dont bien des phases ont rapidement évolué depuis près de trente ans. C'est précisément ce que des mycologues français (P. Joly, P. Bondoux, A. Belle-mère et M. Morelet) ont tenté de réaliser dans le cadre d'un manuel sur les maladies des arbres.

Après des considérations générales sur les modes de vie et les structures si variées de ces organismes omniprésents, chaque spécialiste a décrit sommairement des aspects plus particuliers

d'un grand groupe selon une formule préétablie, avant de présenter les tableaux déterminatifs des grandes classes et de leurs subdivisions. Ainsi le corps principal est constitué de clés dichotomiques devant conduire les lecteurs aux divers papiers de la hiérarchie taxonomique: Curieusement, ils ont choisi de présenter en premier lieu les champignons dit «supérieurs», soit les Basidiomycètes et les Ascomycètes, et de considérer à la fin les classes des champignons dits «inférieurs», les Zygomycètes, les Phycomycètes et les Myxophytes. Même dans chacun de ces grands groupes, ils ont passé du plus complexe au plus simple, contrairement à la coutume bien établie et sans offrir de raisons valables pour justifier cette attitude. Selon la formule adoptée, le cheminement du lecteur suit le fil conducteur des traits morphologiques et surtout anatomiques qui devrait conduire au genre en passant par l'ordre, la famille et la tribu. Rendu à ce point, l'utilisateur ne trouve, le plus souvent, qu'une brève mention de une ou deux espèces accompagnée de courtes notes descriptives et parfois illustrée de dessins empruntés à divers auteurs. En raison des restrictions imposées par la dimension du volume, les auteurs ont donc dû se borner à un exposé schématique d'un domaine trop vaste, tout en soulignant quelques entités importantes du point de vue forestier. Tel que conçu et réalisé, cependant, ce tome apporte un certain complément au premier paru surtout en offrant un agencement taxonomique et une nomenclature qui tiennent compte des progrès récents.

René POMERLEAU

1395, parc Champoux
Québec, Qué.

LOCQUIN, M. et M. LANGERON, 1978. **Manuel de microscope**. Masson, Paris. 352 p., 151 fig. 18 × 24 cm. Cartonné, pris non indiqué.

Pendant plus de 40 ans, nous avons utilisé avec profit l'une ou l'autre des éditions successives du *Précis de microscopie*, puis du *Précis de mycologie* de Maurice Langeron pour nos propres recherches et notre enseignement sur les maladies des arbres et les Fungi. Mais au cours des trois dernières décennies des progrès nombreux se sont succédés dans les techniques d'études histologiques, parasitologiques et cytologiques et la remise à jour de ces manuels s'imposait avec de plus en plus d'acuité. Certes, en Amérique du Nord, nous disposions d'ouvrages généraux, rédigés en anglais, et de nombreux travaux plus spécialisés notamment sur les méthodes nouvelles qu'exigeait l'emploi des perfectionnements instrumentaux plus récents comme la microscopie par contraste de phases, par fluorescence et, bien sûr, la microscopie électronique. Or l'édition, complètement remanié du Langeron, arrive à un point pour combler cette lacune. Tout en conservant les renseignements et les procédés d'examen microscopique classiques et toujours utiles, énumérés dans les livres précédents, Marcel Loc-

quin a réuni dans ce nouveau volume les acquisitions plus récentes dans les diverses disciplines qu'il a échantillonnées et vérifiées lui-même dans les institutions et les laboratoires où elles ont été développées ou utilisées. Dans une première partie, l'auteur décrit, le plus sommairement possible, le microscope photonique et ses accessoires les plus modernes, les méthodes d'examen les plus variées selon le but recherché et les procédés d'analyse ou d'enregistrement des images. Dans une deuxième, subdivisée en 5 chapitres, il présente avec concision, les techniques de préparation et de coloration des échantillons à examiner. Le procédé de fixation, d'inclusion, de coupe, de montage et de la coloration font aussi l'objet de commentaires et de descriptions selon le matériel à l'étude et les résultats anticipés. Enfin, pour faciliter la tâche de l'usagé, il présente, en appendice, une liste exhaustive des termes techniques français et les équivalents allemands et anglais, des constantes physicochimiques des composés utilisés et une bibliographie des livres parus depuis 1948 sur les mêmes sujets. Dans une ère de changements accélérés, un compendium de recettes risque de devenir bientôt désuet, mais les techniques éprouvées de la microscopie photonique conserveront longtemps leur utilité. Cependant, la qualité des résultats et de leur interprétation dépendront toujours de l'habileté et de l'expérience de celui qui les pratique.

René POMERLEAU

1395, parc Champoux
Québec, Qué.

ALI, M. A., éditeur, 1978. **Sensory ecology**. Review and perspectives. *Nato Advanced study institutes series, Series A: Life sciences*, vol. 18. Plenum Press, New York. 608 p. 17,5 × 25,5 cm. Relié, \$59,40.

Ce volume, édité sous la direction du Dr M. A. Ali de l'Université de Montréal, regroupe les exposés d'une vingtaine de collaborateurs internationaux. Ces chercheurs s'étaient réunis en congrès à l'Université Bishop, Lennoxville, Québec, du 10 au 22 juillet 1977. Cet ouvrage poursuit des objectifs qui m'apparaissent très intéressants: documenter les systèmes sensoriels des divers groupes animaux et évaluer comment ceux-ci permettent d'optimiser les relations de l'organisme avec son milieu de vie.

On y voit se côtoyer les préoccupations relevant plus spécifiquement de la physiologie, de l'écologie et de l'éthologie. Le lecteur réalise qu'une étude physiologique d'un récepteur n'acquiert sa pleine dimension que si l'on est en mesure d'en évaluer l'impact de type adaptatif sur le plan écologique et comportemental. L'énoncé inverse est d'ailleurs tout aussi vrai. La vie est un tout que les disciplines de recherche ont parfois tendance à segmenter.

Le volume de 608 pages comprend essentiellement deux parties. La première traite des fonctions sensorielles liant les divers groupes animaux à leur milieu de vie. Les auteurs présentent tour à tour les éléments sensoriels propres aux protozoaires, aux invertébrés inférieurs, aux arthropodes, aux poissons, aux amphibiens, aux reptiles, aux oiseaux et aux mammifères. La seconde partie de l'ouvrage évalue la distribution et l'évolution des fonctions sensorielles d'intérêt écologique à travers le règne animal. Les auteurs abordent alors la perception des stimuli de nature chimique, mécanique, thermique, kinesthésique, lumineuse, électrique et de la sensibilité à la pression. Les diverses stratégies utilisées par les animaux dans le cadre de l'audition et de la vision font l'objet d'une discussion distincte.

Ce volume m'apparaît comme une contribution majeure tant par son esprit que par la richesse des informations qu'il contient. Le texte est en effet encadré d'environ 2000 références. Il devrait donc retenir l'attention de tout biologiste soucieux de comprendre comment les organes des sens assurent aux animaux une connaissance qualitative et quantitative des variables physicochimiques du milieu de vie. Cette connaissance est à la source même de l'élaboration des patrons moteurs assurant à l'organisme le potentiel de survie et d'adaptation.

Yves POUSSART

Département de biologie
Université Laval, Québec

JACQUIOT, C., 1978. **Écologie des champignons forestiers**. Coll. *Écologie fondamentale et appliquée*. Gauthier-Villars, Paris. 104 p., 12 pl. hors texte. 15,5 × 24 cm. Broché, 49 FF.

Pendant longtemps, la mycologie est restée prisonnière de son outil essentiel, c'est-à-dire de la systématique. Plus récemment, l'intérêt s'est déplacé vers la physiologie et enfin vers l'écologie.

Le titre de l'ouvrage, *Écologie des champignons forestiers*, attire l'attention de tout chercheur en mycologie mais son contenu risque d'en décevoir plusieurs. Bien sûr, le texte concis et aéré, agréablement illustré ne manquera pas de captiver l'intérêt des jeunes et des amateurs mais sur le plan scientifique l'information fournie par l'auteur remonte aux années 50. On y trouve moins de 10% des références qui soient postérieures à 1970, ce qui explique pourquoi la section traitant des endomycorrhizes passe complètement à côté du sujet. Aucune distinction valable n'est faite entre les endomycorrhizes à vésicules et arbuscules, les ectendomycorrhizes des Ericacées et les endomycorrhizes des Orchidacées. Pourtant les endomycorrhizes à vésicules et arbuscules se retrouvent chez au moins 90% des plantes vasculaires. Comment peut-on passer sous silence les excellents travaux français faits à Cler-

mont-Ferrand et à Bordeaux sur les mycorrhizes causées par les truffes, ainsi que ceux d'Amans, de Montpellier et de Lyon sur les ectomycorrhizes des arbres. D'autre part si les photographies macroscopiques sont d'excellente qualité, on ne peut en dire autant des photographies faites au microscope.

En bref, il s'agit d'un ouvrage de vulgarisation qui pourra sans doute éveiller l'intérêt des jeunes

concernant l'écologie des champignons mais qui risque de transmettre, sur certaines questions, une image déformée du sujet par rapport aux connaissances actuelles.

J.-André FORTIN

*Département d'écologie et pédologie
Université Laval, Québec*

ERRATUM

Dans le numéro de janvier-février 1979 de la revue (vol. 106, n° 1), une erreur s'est glissée dans l'ordre des auteurs de deux articles.

"Numerical simulation of the movement and dispersion of oil slicks in the upper St. Lawrence Estuary: preliminary results" (p. 37) aurait dû être signé par :

F. AUBIN, T.S. MURTY and M.I. EL-SABH

"Mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent" (p. 89) aurait dû être signé par :

M.I. EL-SABH, T.S. MURTY et L. LÉVESQUE

DIRECTIVES AUX AUTEURS

ORIENTATION DE LA REVUE

On peut soumettre au *Naturaliste canadien* des *articles inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée, de la taxonomie, de la morphologie ou des sciences de la terre. Tout manuscrit sera jugé en fonction de l'originalité des résultats et de l'interprétation. Les revues thématiques ne seront acceptées que si elles donnent lieu à d'importantes généralisations scientifiques. Des *articles courts* (maximum de quatre pages dans la revue) peuvent être acceptés comme "Communications brèves" s'ils découlent d'une recherche de qualité.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à double interligne sur le recto de feuilles de 21.5 X 28 cm, sont expédiés en trois exemplaires au Secrétaire de la rédaction.

Les éléments du manuscrit sont les suivants : (1) le titre ; (2) le nom de l'auteur ; (3) le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur ; (4) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces (sur une page séparée) ; (5) les résumés français et anglais (maximum de 300 mots) ; (6) le texte ; (7) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains), les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes) et les références bibliographiques.

TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant : 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 infra-marginales devront être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement ; (3) pour les unités de mesure, on utilisera de préférence le système métrique, (4) on évitera les appendices, et d'ailleurs la Direction de la revue ne s'engage pas à en publier plus d'une page.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles seront indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles seront citées

par ordre alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant des exemples suivants :

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5) : 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In : D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Les titres des périodiques devront être abrégés suivant la "World List of Scientific Periodicals" (édition de 1963).

ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à deux clichés par manuscrit ; tous les clichés additionnels seront à la charge de l'auteur.

Les photographies devront être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupera, autant que possible, les photographies sur une même planche, en les collant sur un carton rigide, sans oublier de les numérotéer proprement et lisiblement au coin droit. Trois séries de photographies sont requises.

Les dessins doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage devra 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 x 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.

ÉPREUVES ET TIRAGES-À-PART

Les auteurs recevront une série d'épreuves, en même temps qu'un bon de commande pour les tirages-à-part. L'un et l'autre devront être retournés dans les plus brefs délais.

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

EDITORIAL POLICY

Original papers in French or in English based on research in basic and applied ecology, taxonomy, morphology and earth sciences will be considered for publication in this journal. The papers will be judged on the basis of their contribution of original data and ideas or interpretation. *Review articles* will not be accepted unless they lead to new and important generalizations. *Short articles* (no more than four pages in the journal) may be accepted as "Communications brèves". They should be distinguished from papers on the basis of scope rather than quality of the research.

GENERAL PRACTICES

Manuscripts should be typewritten in double spacing throughout on one side of bond paper 21.5 x 28 cm, and submitted in triplicate to the Secretary of the Editorial Board.

The sequence of material in the manuscript as submitted should be: (1) title; (2) author's name; (3) author's affiliation and address; (4) a condensed running head of no more than 60 letters and spaces (on a separate page); (5) French and English abstracts limited to 300 words; (6) the manuscript proper; (7) on separate pages references, tables (numbered consecutively in Roman numerals) and figure legends (numbered consecutively in Arabic numerals).

MANUSCRIPT DETAILS

The arrangement of the contents should generally be as follows: Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, and References.

In preparing copy please take account of the following remarks: (1) underscore only where italics are intended; (2) footnotes are to be avoided and wherever impossible they should be consecutively numbered; (3) either metric or English units may be used; however use of the former is recommended; (4) appendixes should be avoided and will not be usually accepted if exceeding one page.

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:

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5): 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. *In*: D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Abbreviations for periodicals should follow the "World List of Scientific Periodicals" (1963 edition).

ILLUSTRATIONS

The first two 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 card-board, and clearly numbered at the right corner of each photograph. Three complete sets of photographs must be included.

Drawings are 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 x 20 cm, inclusive of captions.

Captions for illustrations should be typed in paragraph form on a separate page. Moreover each illustration should be clearly labelled on back, giving the name of the author and the figure number.

PROOFS AND REPRINTS

Galley proofs will be sent to the author together with an order blank for reprints. The corrected proof with the order for reprints should be returned immediately.

Vente à prix réduit
de collections d'anciens volumes du
NATURALISTE CANADIEN

Les Presses de l'Université Laval sont dans l'obligation de libérer leurs entrepôts de certains surplus de revues. La direction du *Naturaliste canadien* met donc en vente, à prix réduits, des collections d'anciens volumes de la revue, durant une courte période, au tarif suivant:

Volume 60 (1933) à 92 (1965), \$8.00 le volume.

Volume 93 (1966) à 104 (1977), \$10.00 le volume.

Le volume 101 (1974) est épuisé.

Trois collections d'anciens numéros de 1868 à 1891 (volumes 1 à 20), de la période de Provancher, et de 1894 à 1932 (volumes 21 à 59), de la période de Huard, sont disponibles. Prix sur demande.

Secrétariat de la rédaction
« Le Naturaliste canadien »
Université Laval
Québec. G1K 7P4

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Mai-juin 1979

Numéro 3

SOMMAIRE

LÉVESQUE, Claire, Jean-Guy PILON, Jean DUBÉ et Gilles-Y. LÉVESQUE. Phénologie et activité locomotrice de Coléoptères Carabidae des Laurentides (Québec)	355-368
LÉGER, R.G. et G.J.F. MILLETTE. Distribution écologique des vers de terre (Oligochaeta: Lumbricidae) dans la forêt du Morgan Arboretum	369-376
MAGNIN, Étienne et Anne-Marie CLÉMENT. Croissance et régime alimentaire des ménominis ronds <i>Prosopium cylindraceum</i> (Pallas) du territoire de la Baie James	377-386
LOAN, C.C. Three new species of <i>Peristenus</i> Foerster from Canada and western Europe (Hymenoptera: Braconidae, Euphorinae)	387-391
LOAN, C.C. and N.J. HOLLIDAY. Euphorinae parasitic on ground beetles with descriptions of three new species of <i>Microctonus</i> Wesmael (Hymenoptera: Braconidae, and Coleoptera: Carabidae)	393-397
SILLANS, Daniel. Étude des mécanismes de l'anesthésie au CO ₂ chez <i>Bombyx mori</i> à l'aide des variations du rythme circulatoire	399-409
COMMUNICATIONS BRÈVES:	
TREMBLAY, D. and G.J. FITZGERALD. Social organization as an anti-predator strategy in fish	411-413
EIRAS, Jorge da Costa et Stella CARRAÇA. Note sur la biologie de <i>Mugil cephalus</i> (L.) du nord du Portugal: variations annuelles des rapports poids-longueur, du rapport hépatosomatique et du coefficient de condition	415-419
REVUE DES LIVRES	421-424
ERRATUM: Vol. 106, N° 1 (janvier-février 1979), p. 37 et 89	424

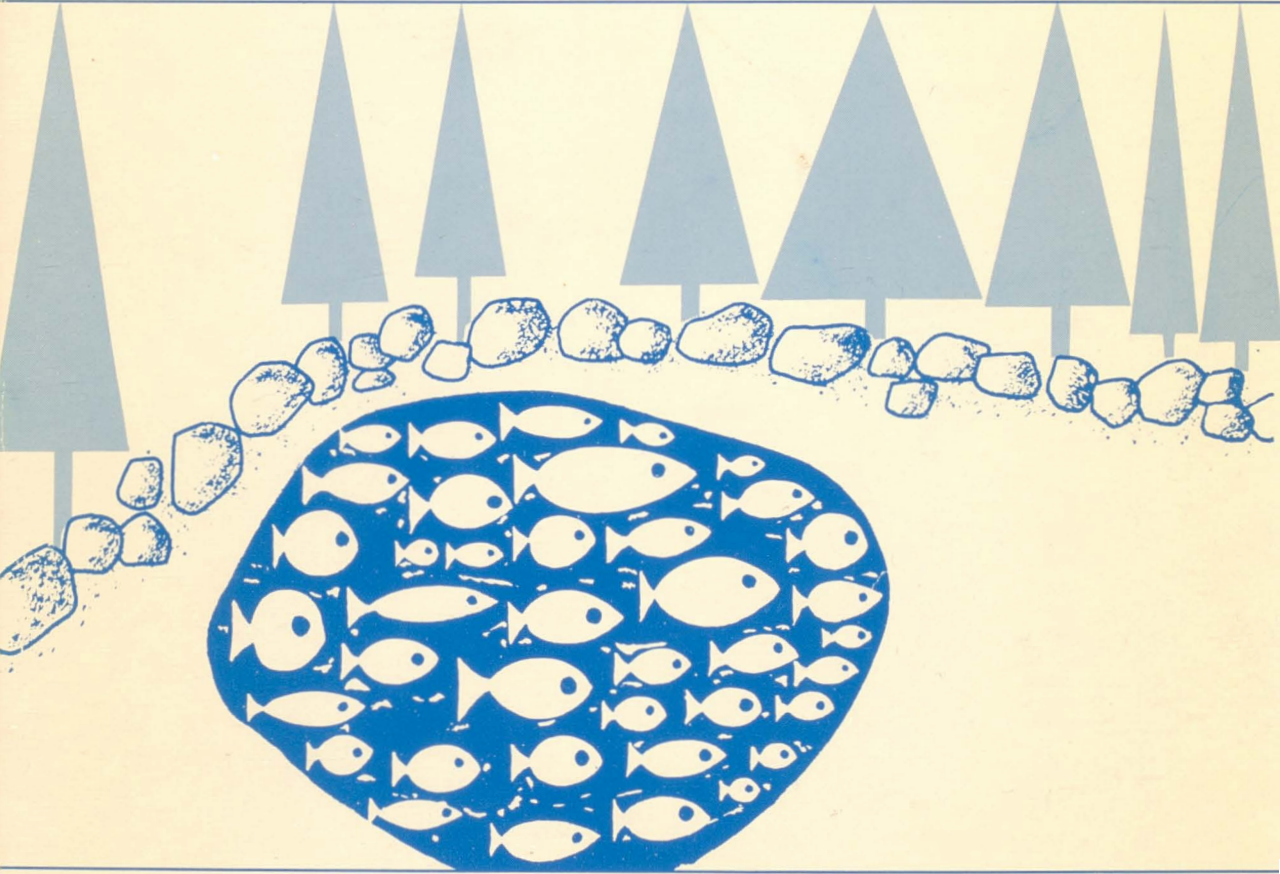
DEC 11 1979

ENCLOSURE
BIBLIOTHÈQUE
MUSEUM OF NATURAL HISTORY
TORONTO

Volume 106,
numéro 4
juillet-août 1979

le naturaliste canadien

revue d'écologie et de systématique



Fondé en 1868
par l'abbé L. Provancher

BIBLIOTHÈQUE
DU MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET
DES RESSOURCES DU QUÉBEC
Les Presses de l'Université Laval

LE NATURALISTE CANADIEN

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR

G.-WILFRID CORRIVAUT

DIRECTEUR-ADJOINT

MIROSLAV GRANDTNER

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

PIERRE MORISSET

COMITÉ DE RÉDACTION

RENÉ BÉLAND, *Université Laval*

RENÉ BÉIQUE, *Direction générale de la conservation, Ministère des terres et forêts, Québec*

JULIEN BERGERON, *Ministère de l'industrie et du commerce, Québec*

BERNARD BERNIER, *Université Laval*

PAUL BERTHET, *Faculté des sciences de Lyon*

PIERRE COUILLARD, *Université de Montréal*

MICHEL DELSOL, *Faculté catholique de Lyon*

LYOYD M. DICKIE, *Institut d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*

ANDRÉ GAGNON, *Université Laval*

PAUL GERVAIS, *Université Laval*

ROGER HEIM, *Muséum national d'histoire naturelle de Paris*

WILLIAM S. HOAR, *Université de la Colombie-Britannique*

ROBERT LAGUEUX, *Université Laval*

VICTORIN LAVOIE, *Université Laval*

ERNEST LEPAGE, *Saint-Simon, Rimouski*

TREVOR PLATT, *Laboratoire d'écologie marine, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, N. E.*

GASTON MOISAN, *Service de la faune du Québec*

W.E. RICKER, *Office des recherches sur les pêcheries du Canada*

D. M. ROSS, *Université d'Alberta*

HENRI TINTANT, *Faculté des sciences de Dijon*

ADMINISTRATION (abonnements, changements d'adresse, droits de reproduction):

Les Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4

Abonnement annuel

personnel: \$17.00

— collectif: \$34.00

— le numéro: \$4.00

Étranger: \$19.00

(multi-user)

— numéros spéciaux: \$10.00

Publication bimestrielle de l'Université Laval. LE NATURALISTE CANADIEN accepte des **articles inédits**, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée (agronomique, forestière), de la systématique, de la morphologie ou des sciences de la terre.

De brèves **communications scientifiques** seront acceptées pour publication rapide. Elles ne devront pas excéder 1,500 mots, titre et bibliographie compris.

Les **manuscripts** doivent être adressés au **Secrétariat de la rédaction**, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec G1K 7P4, Québec.

LE NATURALISTE CANADIEN est publié avec l'aide du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec.

Répertorié dans Current Contents, Biological Abstracts et Périodex.

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement no 1768

Dépôt légal — Troisième trimestre 1979. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa.

THE NATURAL HISTORY OF A SUBARCTIC ADVENTIVE: *EPILOBIUM ANGUSTIFOLIUM* L. (ONAGRACEAE) AT SCHEFFERVILLE, QUÉBEC

G. HENDERSON, P. G. HOLLAND¹ and G. L. WERREN

Department of Geography, McGill University, Montréal, Québec

Résumé

Divers aspects de l'histoire naturelle d'une espèce indigène (*Epilobium angustifolium* L., Onagraceae) ont été étudiés à Schefferville (Québec) en 1977 et 1978. Cette espèce adventice est une plante coloniale et persistante, dont les racines peuvent atteindre l'âge de 30 ans. La répartition de cette espèce dans les différents types d'habitats est vaste, mais sa densité, sa taille et sa fréquence de floraison sont maximales sur le bord des routes et les autres endroits exposés. L'espèce est rare dans les zones de forêts d'épinettes avec lichens et d'épinettes avec mousses où peu d'épilobes fleurissent. Les fleurs de l'épilobe sont pollinisées par des Anthomyiidae, Cérambycides, Lépidoptères, Simuliidae et Tabanidae, qui rendent aussi visite aux fleurs de plusieurs autres espèces à Schefferville. On estime que 60% de la matière photosynthétisée annuelle nette est consacrée à la production des racines. La quantité de graines qui atteignent le sol varie de zéro dans les zones forestières, à 40 graines par m² sur le bord des routes. La variété des systèmes de propagation employés par cette espèce nous indique que *E. angustifolium* peut être un stratège-r ou un stratège-K, selon les conditions de l'environnement. Ses prédateurs comprennent des Aphidés, des larves de Diptères et plusieurs mammifères. Aucun d'eux, cependant, ne se limite à cette plante comme source de nourriture. Les colonies denses d'épilobe sont sensibles aux infestations de *Puccinia gigantea*.

Abstract

Aspects of the natural history of a native adventive species (*Epilobium angustifolium* L.) were studied at Schefferville, Québec, in 1977 and 1978. This species is a long-lived colonial plant, the roots of which can reach the age of 30 years. It grows in a wide range of habitat-types, but shows greatest density, stature and flowering frequency in disturbed sites on roadsides and tracks. In areas of mature lichen and moss forest, the species is rare, and few plants flower. Flowers are pollinated by Syrphidae, Anthomyiidae, Tabanidae, Cerambycidae, Simuliidae and Lepidoptera, all of which visit the flowers of other species at Schefferville. It is estimated that as much as 60% of the net annual photosynthate is devoted to root production. Seed rain varies from virtually zero in forested areas to about 40 m⁻² on roadsides. The variety of propagatory systems employed by the species indicates that *E. angustifolium* can be either an r- or a K-strategist, according to environmental conditions. Its predators include aphids, diptera larvae and several mammals, none of which has a restrictive feeding relationship with the host species. Dense colonies of the plant are prone to attack by the rust fungus *Puccinia gigantea*.

¹ Present address: Department of Geography, University of Canterbury, Christchurch 1, New Zealand.

Introduction

Epilobium angustifolium (Onagraceae), the so-called 'fireweed', is a common colonial plant in boreal Canada. Although in the east it is generally found in expanses of disturbed ground, its shoots occur — albeit in low numbers — in areas of mature forest vegetation. Further, fireweed is a native species which is apparently able to respond to and survive in a broad range of environmental conditions.

There are accounts of the adventive nature of this species (Salisbury, 1961), and some workers have documented its role in mature forest communities (Neiland, 1958). No published accounts deal with differentials in its growth and response in areas with a complex history of disturbance, and it is not known what permits fireweed to go from being a relatively rare forest herb to a common weedy plant of disturbed ground. Specifically, the relative importance of seeds and roots in this process has not been evaluated.

Initial field and literature surveys indicated that there would be marked growth behavioral differences between fireweed colonies in mature lichen woodland and those in grossly disturbed areas, suggesting that the species has evolved a range of growth strategies which permit it to survive in a mosaic of habitats and to exploit the ecological opportunities provided by various types of disturbance.

To allow an assessment of these notions, we sought an area in boreal Canada with a well documented, but complex, history of disturbance relatively isolated from external sources of fireweed propagules. We decided to base our field research on Schefferville, a small mining town in the heart of northern Québec. Connected to the south only by railroad and airlines, Schefferville is surrounded by relatively untouched coniferous forest vegetation. Since 1954, the mining company operating out of the town has bulldozed roads through the different vegetation types of the area, cleared land for strip mining, made spoil heaps from mine wastes, and established a small settlement. There have also been extensive bush fires in the area since settlement started. All these human activities have left their mark on the landscape, and it is possible to find an assemblage of different types, sizes and histories of disturbed ground within 15 km of the town.

In this essay we summarize an extensive literature concerning the species, and document important aspects of its growth behavior and distribution in a range of habitat-types at Schefferville. As this is the first in a planned series of studies on fireweed in boreal Canada, the emphasis was on correlations between growth behavior and field conditions. Work is in progress, involving field and laboratory experiments, on features of its reproductive biology.

The plant

Fireweed is virtually circumboreal in distribution (Mosquin, 1966; Hultén, 1971). It is found north of the Arctic Circle, thence south to the Himalayas and to the mountains of northern Mexico. Hultén (1972) suggested that during the Pleistocene *E. angustifolium*, together with other boreal species, survived in refugia to the south of the ice sheets. Mosquin (1966) proposed that members of an eastern diploid population of fireweed subsequently colonized northeastern Canada, while the Rocky Mountains of the U.S.A. served as a western refugium for the diploid plants of Montana and Wyoming. Much of the Canadian Arctic was colonized by plants from unglaciated parts of Alaska.

Fireweed has been observed in such glacial deposits as kettles (Ritchie, 1959), moraines (Jensen and Salisbury, 1972), and debris escarpments (Langenheim, 1956). It is also common in burned areas (Neiland, 1958; Ahlgren, 1960), on bombed sites in London (Hartog, 1942; Salisbury, 1961) and in the center of a large area of volcanic rocks in southern Kamchatka (Hultén, 1972). There is evidence for greater abundance of the species since the early Middle Ages (Ridley, 1930).

Gleason and Cronquist (1964) reported the appearance of 'American fireweeds' in bombed areas of London but, as Salisbury (1961) noted, it is unlikely that the recent spread of fireweed in the British Isles is associated with the introduction of an American strain of the species.

European taxonomists place *Epilobium angustifolium* in the genus *Chamaenerion*, but Seavey *et al.* (1977) noted morphologic similarities between that genus and Section *Epilobium* in the respects of spiral leaf arrangements, zygomorphic flowers, obsolete floral tubes and single pollen grains. Raven (1976) proposed that all *Chamaenerion*

species share a common ancestor with those placed in Sect. *Epilobium*. Some taxonomists have stated that *Epilobium angustifolium* has alternate, petiolate leaves. Unruh (1950), however, reported that its leaves are always whorled. The perennial nature of this species has been widely documented, although an allusion to an annual form appears in Yarranton and Beasleigh (1974).

Mosquin (1966) resolved several taxonomic controversies by assigning individuals of *E. angustifolium* to their appropriate race, as determined by chromosome counts: diploid ($2n = 18$) and tetraploid. He also found that the races are geographically segregated. Diploids are common in Europe and the northern part of North America, while polyploids are distributed throughout the southern part of the continent of North America.

In 1789, Sprengel (*in* Meeuse, 1961) observed that fireweeds are protandrous, and that self-pollination may not occur easily. Kerner and Oliver (1895) stated that autogamy could occur if the four deflexed lobes of each stigma contacted the dehiscing anthers. The stigma remains closed and away from the anthers for two or three days, according to Mosquin (1966), although Kerner and Oliver (1895) found that the average interval was only about 24 hours.

Flower variation has been studied by Shacklette (1964) who noted that petal color in fireweed ranges from rose purple through magenta and pink to purple.

The noted ability of fireweed to colonize recently disturbed ground has been described by Hartog (1942), Holm (1922), Neiland (1958), Ridley (1930), Salisbury (1961), Shacklette (1964) and Hultén (1972). The tiny seeds of fireweed are dispersed by either rain splash or the wind, and may germinate either immediately or the following year, if environmental conditions allow (Myerscough and Whitehead, 1966). Under laboratory conditions, germination rates are high and the seedlings develop quickly.

Fireweed's rapid rate of establishment in new ground may not, however, be due entirely to the germination of recently arrived seeds. Shoots from long-established roots, which can elongate as much as one meter a year (Salisbury, 1961), may be even more important: an observation made by Holm (1922) and later supported by the work of Moss (1936). Few detailed investigations of seed dispersal in fireweed have been re-

ported. Salisbury (1961) found as many as 80,000 comate, wind-borne seeds in the fruits of a single shoot of fireweed and that the propagules could take 13.5 to 66 seconds to fall through ten feet in still air.

No predators have been reported, although Faull (1938) and Mäkinen (1966) described serious fungal infestations in populations of fireweed.

Most descriptions of the growth behavior of fireweed come from laboratory studies, and there have been few programs of field investigation. Under greenhouse conditions, and in the absence of flying insects, self-fertilization is rare (Mosquin, 1966). Myerscough and Whitehead (1966 and 1967) commented on the growth form, biology and germination requirements of fireweed, on the basis of greenhouse experiments. Similar studies include those of Olsen (1925), Neithammer (1927) and van Andel and Rozema (1974) on the nutrient demands and germination requirements of the plant. There is a dearth of information on the population dynamics of fireweed in the field, although van Andel (1975) has dealt with this aspect of the species in the sand dunes of Schiermonnikoog, the Netherlands.

Field methods

The areas chosen for field study are near Schefferville. In June 1977 nine plots — each 225 m² in extent — were established in four habitat-types: two each in roadside locations (RS 1 and RS 2), burned ground (B 1 and B 2), and areas of mine waste (MW 1 and MW 2); and three plots in areas of lichen woodland (LW 1, LW 2 and LW 3). The roadside plots were 5 m wide by 45 m long, and oriented with their long axes parallel to the road. All other plots were square. Lichen woodland site one had no fireweed plants growing in it and served as a control area for the study of seed rain.

Each plot was divided into nine square sub-plots of 25 m². In each, as many as five fireweed shoots were labelled. Over the eight occupied plots, 277 shoots were tagged to facilitate a regular program of measurements on living material. For at least weekly intervals during the 1977 growing season, measurements were taken of shoot height and the phenologic state of each tagged individual. At less frequent intervals, density counts were made to permit estimation of rates of thinning over the growing season.

A sticky trap (Werner, 1975) was placed in each sub-plot to provide a measure of differentials in seed rain between the four sampled habitat-types. In 1978, the eight occupied plots were surveyed at two-weekly intervals for information on changes in shoot density and phenology.

During 1978, a further 32 permanent quadrats, each 1 m² in area, were established at random within large stands of the plant along Iron Arm Road for an assessment of the phenology, ecology, density and distribution of fireweed at the micro-scale in the different habitat-types of the region.

All destructive samples were drawn from outside the permanent plots. Individual fireweed shoots and 5 cm lengths of attached roots were excavated and aged, following the method first described and justified by Moss (1936) and subsequently used by van Andel (1975). We recognize that it is generally difficult to obtain reliable estimates of the age of herbaceous plants from ring counts in root tissue, but van Andel's studies in Europe imply that this method is acceptable with fireweed. Three or four root sections were taken from each individual and their mean age was computed. Where both pseudo-rhizomes and lateral roots occurred, both were sectioned and the larger of the ring counts was accepted. In woodland specimens of the plant, the root core was almost always at least partly disintegrated, making ring counts impossible. For some roots it proved possible to estimate age from the tetrarch distributions of wood bundles. The ages of entire roots with 15 or more rings may have been underestimated by about five years.

In 1977, many specimens of fireweed were collected from stations evenly spaced along an extensive transect covering the different habitat-types of the region. Note was taken of the habitat of each shoot before it was collected and dried. Measurements were subsequently made of leaf area, shoot length, internode length and numbers of leaves per shoot.

Seed dispersal was studied at a special site where measurements of both vectorial and distance bias were made. The site is on a disused airport runway where an anemometer was installed to measure wind velocity two meters above the surface. Sticky traps were laid in a formal array around an isolated group of flowering shoots of fireweed. Rodamine, a water soluble fluorescent dye,

was used to facilitate identification of fireweed seeds after dispersal. Approximately 190 developing fruits had 0.5 cc of a 1% aqueous solution of Rodamine injected into them between mid-August and early September, 1977 and the seed traps were inspected on three occasions between late August and mid-October.

Results and discussion

DISTRIBUTION OF FIREWEED BY HABITAT-TYPE

Fireweeds were seen at virtually every stop on the transects through the Schefferville region. The greatest densities were found along roadsides, while the lowest were in closed spruce, feather moss forests. In general, the numbers of fireweed shoots per 1 m² decreased with increasing percentage cover from the other plant species. That result lends support to the statement of Brenchley and Heintz (1933, p. 102) that "...the varying distribution [of fireweed] would appear to be a question of competition rather than soil reaction..." One situation in which fireweed did not occur was in areas of silty or sandy outwash at the feet of mine dumps. Such areas are seasonally flooded, and any seeds which land there are probably washed away before they can germinate.

Within the Schefferville region, fireweeds were found in a variety of soils: gleys, dystric brunisols, mini-podzols, mine tailings and regosols. Moisture values in areas occupied by the species varied considerably, from seasonally saturated to well-drained. Their pH ranged from 6.5 in areas of mine tailings to 3.8 in the lichen woodlands.

DENSITY

The density of fireweed shoots was greater in disturbed sites than in lichen woodlands (Table I), and between-year variations did not alter this general pattern. Density increase was rapid from June until about the second or third week in July, after which time population numbers scarcely changed until early September. In mid-July, at Schefferville, fireweed shoots reach their peak density and flower buds appear. At the same time, shortwave radiation is at its yearly maximum; air temperatures are maximum and their standard deviations are small; there is maximum diurnal variation in wind velocity; air vapor pressure is high and the

TABLE I

Shoot density, flowering frequency and seed production for fireweed in the 225 m² permanent plots at Schefferville in 1977 and 1978.

Plot number	Max. density (shoots per 225 m ²)		Shoots with flowers (%)		Shoots producing seeds (%)	
	1977	1978	1977	1978	1977	1978
RS 1	2600	2300	7.5	2.5	0.5	<0.5
RS 2	960	1150	1.0	1.0	< 0.5	0
B 1	130	60	0	0	0	0
B 2	260	300	10.5	2.5	0.5	0
LW 1	0	0	0	0	0	0
LW 2	100	100	0	0	0	0
LW 3	10	20	0	0	0	0
MW 1	150	90	0	0	0	0
MW 2	80	80	8.5	5.5	4.0	0

probability of receiving at least 0.25 mm of rain per hour is at its yearly peak (Lechowicz and Adams, 1978).

In areas of lichen woodland at Schefferville, low densities of the species are thought to reflect the chemical and mechanical properties of the thick lichen mat. Brown and Mikola (1974) reported that the leachate from *Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo inhibited the growth of spruce seedlings, and Allen (1929) found that roots from seeds which germinated on the lichen mat failed to penetrate to the mineral soil.

Low densities of fireweed were also found in the mine waste plots. There, most individuals grew in drainage channels and small depressions where wind-borne seeds apparently lodged. In MW 2, for example, all fireweed plants grew in clumps between large boulders and on the lee sides of cobbles. Adjoining areas of slopewash had very low densities of the plant.

Recently burned areas of forest vegetation at Schefferville supported relatively low densities of fireweed. Rather, shoots were seen in widely spaced clumps and around tree stumps or rock outcrops. It is possible that air-borne seeds hit those exposed surfaces and germinated where they fell. In recently burned areas, the density of fireweed varied, and may prove proportional to surface roughness, proximity to a seed source, direction of the prevailing wind, intensity of the fire, and survival of buried roots.

The roadside plots had the greatest densities of fireweed. There, the combination of elongated stretches of suitable ground for colonization and the relatively long growing

season made for optimum growth conditions. Within the different habitat-types of the region, variations in fireweed density conformed to the patterns of small-area landforms. Thus, along roadsides, density was greatest on shove-mounds created by bulldozers, and in adjacent areas swept clean of overburden, where 30 to 110 fireweed shoots per square meter were found. Other situations with above average density were 'fireplaces' (areas where large piles of brush wood were burned), stream banks, block fields and areas of dense brush woodland on the flood plains of streams and rivers. By way of comparison, areas of lichen woodland often had fewer than one shoot and rarely more than 20 shoots, on average, per m².

MORPHOLOGY

Fireweed shoots emerged in June, 1977, and their mean lengths (Table II) reached stable values by the middle of July. Mean length of shoot between the root and the surface (LBS) varied with the thickness of the vegetation and litter mat. Large values of that statistic were recorded for fireweed colonies in spruce woodlands, along stream banks and in areas with a dense ground layer of sedges and mosses. In burned areas and on expanses of mine wastes, where the roots lay close to the surface, mean LBS was small. Mean above-ground length of shoot (LAS) indicates the vigor of the species in the different habitats. Stream banks and roadsides had the largest values (43.4 and 31.3 cm, respectively) and lichen woodlands the smallest (15.5 cm). Fireweeds growing through lichen mats tended to have etiolated

TABLE II
Morphological statistics for fireweed, by habitat-type.

Habitat-type	Shoot length (cm)			Mean leaf width (cm)	Mean leaf length (cm)	Mean internode length (MIL) (cm)	Mean leaf area (cm ²)
	total	below surface (LBS)	above surface (LAS)				
Roadsides	35.6	4.6	31.3	0.9	6.8	0.8	5.5
Burns	26.8	3.5	23.3	0.7	6.0	0.7	3.9
Lichen woodland	22.7	4.7	15.5	0.7	5.4	0.7	3.3
Spruce woodland	29.9	6.0	22.9	0.8	6.5	0.9	4.6
Stream banks	53.2	6.3	43.4	1.0	9.0	1.1	7.4
Mine wastes	26.8	3.0	27.5	0.9	6.8	0.6	6.7

shoots with small leaves, in contrast to the large-leafed, tall shoots in flood plains and on shove mounds beside roads and tracks.

Mean leaf area was greatest for fireweeds growing along stream banks, and least in the nutrient-poor woodlands. Fireweeds growing in disturbed sites had more leaves per unit length of shoot than did those in areas of mature lichen woodland.

PHENOLOGY

Except in areas of lichen woodland, fireweed shoots emerged by the end of the first week in June. Early emergence in the spring was associated with high values for shoot density during the summer, and stands with small numbers of shoots always sprouted later. After the shoots emerged, they retained their red color for between four and seven days, when their internodes elongated and their leaves turned green. Early sprouters remained at the red stage for two weeks, while the late emerging shoots turned green almost immediately. Pale green flower buds appeared during the first two weeks of July. Although at least some individuals in each habitat-type reached the bud cluster stage, few of those growing in the lichen, brush and spruce woodlands ever flowered. Those flower buds which continued to develop did so until the end of July, when the first florets opened. Shoots with branched inflorescences were occasionally observed. The flowering season lasted until September in 1977 and 1978, but there were

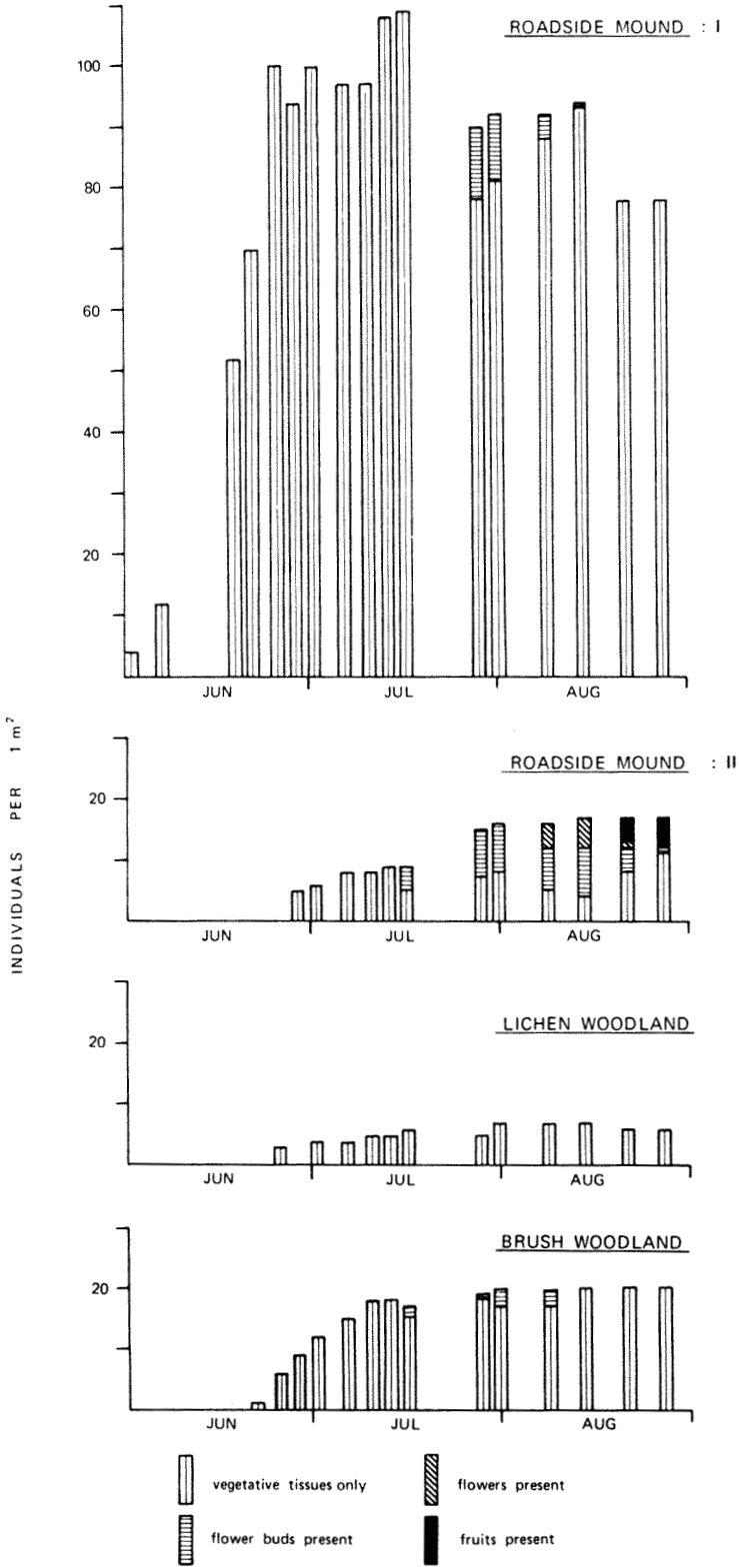
differences of up to two weeks in the last flowering dates between the different habitat-types.

Although most plants had rose pink florets, colonies of white flowered individuals were seen at Schefferville, and this is probably due to genetic, rather than to environmental, effects. Flowering was from the base to the top of the culm, and each floret remained open for a little more than one week. Kerner and Oliver (1895), reporting on European plants, found that fireweeds had anthers which liberated their pollen in fixed order. At Schefferville, pollen grains were observed on all anthers for the first four to six days after the floret opened, while the stigmas matured after the fifth day. Some overlap occurred in these two ripening periods, hence selfing is possible in the Schefferville populations of fireweed.

In the 225 m² plots, fewer than 11% of the fireweed shoots produced flowers, and less than 4% had ripe fruits. During 1978, even fewer shoots in the permanent plots flowered (Table I). Along the roadsides, flowering was associated with shoot densities less than 30 m⁻² and late emergence (Fig. 1).

At Schefferville, insect visitors to fireweed flowers included members of the Anthomyiidae, Cerambycidae, Hymenoptera Lepidoptera, Simuliidae, Syrphidae [*Heliophilus borealis* (Staeg.), *Megasyrphus laxus* (O.S.), *Metasyrphus lapponicus* (Zett.) and *Platycheirus* sp.] and Tabanidae [*Hybomitra hearlei* (Philip)]. Swales (1979) found that

Figure 1. Phenological development of fireweed shoots at Schefferville in 1977, by habitat-type: Roadside Mound I where early emergence was associated with high values for shoot density and sparse flowering; Roadside Mound II with late emergence, low values of shoot density and relatively abundant flowering; none of the shoots in the lichen Woodland plots produced flower buds; and shoots in the Brush Woodland failed to flower, even though flower buds were present in July.



the short hairs on the style immediately above the nectary of fireweed florets inhibited the accumulation of raindrops and restricted visits from insects to those large enough to be useful for pollination.

Bees [*Pyrobombus ternarius* (Say)] and butterflies [*Colias pelidne* subsp. *pelidne* (B. and L.) and *Scoparia centuriella* (D. and S.)] all landed on the open florets to feed. Long-horned beetles [*Gnathacmaeops pratensis* (Laich.)] used the deflexed stigmas as copulation platforms. Syrphids ate the pollen. It is not certain why members of the Tabanidae and Simuliidae visited fireweed flowers, but both sexes of these insects suck juices from the above-ground parts of the plant and may, incidentally, distribute pollen from plant to plant in their search for fresh leaves and stems.

Insects were most abundant when air temperatures were above 5°C, and when wind speeds were lower than about 5 km. h⁻¹. Although moths were not seen on the plant at night, two Noctuid species [*Anomogyna imperata* (Hub.) and *Pachnobia wockei* (Mosch.)] were captured near a clump of flowering shoots with the aid of a light. Benham (1969) stated that nocturnal moths in England were attracted to fireweed flowers, so it is possible that the Schefferville plants are pollinated on a 24 hours basis when atmospheric conditions permit. Late emerging shoots of fireweed were less affected by early summer storms and, if they flowered, were more likely to produce seed.

Bees examined the inflorescences from bottom to top, a phenomenon also observed by Swales (1979) in the high Arctic of Canada and by Benham (1969) in the United Kingdom. Bees tended to move in an upwards spiral before descending to the next inflorescence, thus conserving energy.

Syrphids are hoverers, and seemed indiscriminant in their selection of the floret to visit. Their hovering habit may reflect the insect's ability to detect subtle differences in floral odor (Kevan, 1973).

Butterflies and long-horned beetles remained for at least two minutes on each flower, whereas the syrphids stayed about five seconds, and the bees an even shorter time.

The fruits of fireweed at Schefferville ripened between mid-August and early September. In woodland habitats, the flower buds of most shoots failed to develop and

the fruits contained relatively small numbers of seeds. An explanation for the low production of seeds in the fireweeds of woodland habitats at Schefferville comes from the work of Grainger (1940) who determined that flower production commits so much energy and, most likely, nutriment for future development that the plant may not be able to meet its metabolic demands. Whenever that happened, either the flowers aborted or the immature fruits were shed.

Although seeds were regularly produced by fireweed plants at Schefferville seedlings were rare and only one was found in our permanent quadrats.

Towards the end of August, the shoots started to senesce: growth vigor diminished and the plants became increasingly susceptible to their climatic environment (Leopold, 1961). Apical buds and leaves discolored and shrivelled, and the stems hardened. Some shoots remained alive well into September, but most were in sheltered locations.

PREDATORS AND PARASITES

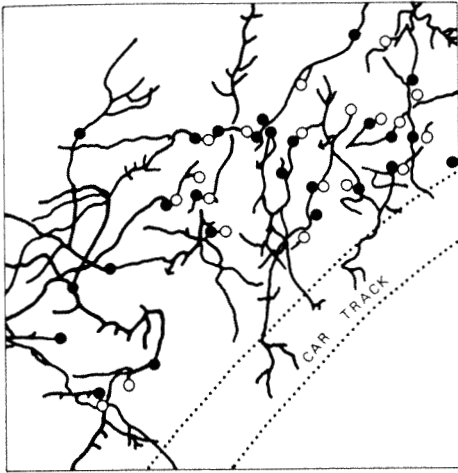
Both winged and wingless aphids were occasionally found on the fireweeds of the permanent quadrats between late June and mid-August. Light infestations were experienced by the shoots of dense stands on roadsides. The insects had negligible effects on the plants, causing neither discoloration nor death of leaves and stems, and they were not restricted to *E. angustifolium* at Schefferville.

In terms of its severity, the rust fungus *Puccinia gigantea* (identified by Y. Mäkinen) was the most important of the parasites of fireweed in the area. It tended to affect only the leaves and stems of dense stands, and it was most noticeable during the second week in August. Major infestations of this fungus are reported to cause reduction in flowering, premature senescence of the shoot and even the death of the entire plant.

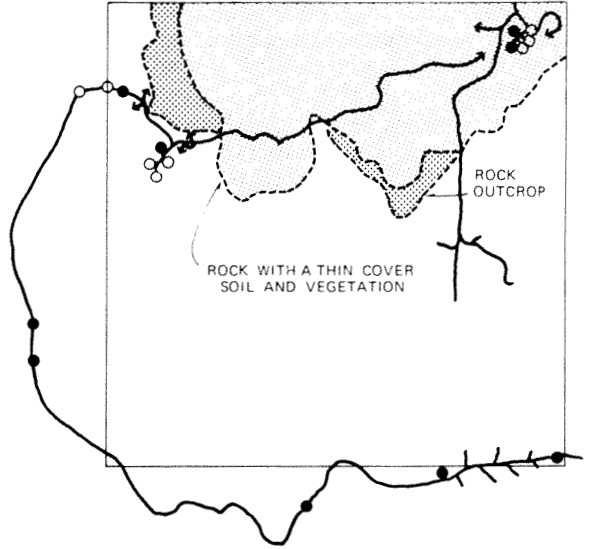
Dipteran larvae were occasionally found in the flower buds of fireweed. Larvae, which were almost certainly dipteran, were found in partly decomposed cores of the oldest roots.

Hares, muskrats, caribou and domestic animals grazed healthy young shoots of fireweed, but less than 5% of the spring's shoots were so affected each year.

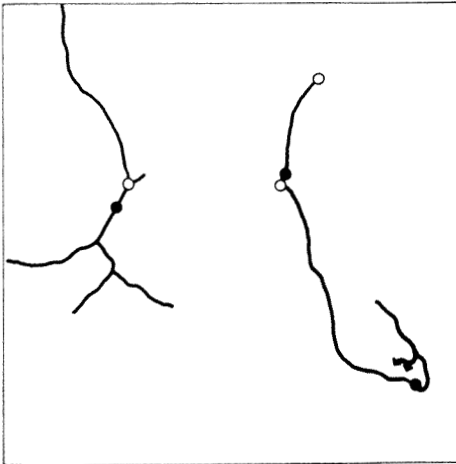
ROADSIDE



BURNED GROUND



LICHEN WOODLAND



MINE WASTE



0.5 m





 ROOT
 ROOT 'DIVES'
 POSITION OF OLD SHOOT
 SHOOT

Figure 2. Root maps for fireweed colonies, by habitat-type. Note the high density of shoots and roots on the Roadside Mound and the sparser net of roots, with widely spaced shoots, in the Lichen Woodland quadrat. The pattern of shoots and roots in the Burned Ground quadrat is a composite of the previous two, and illustrates the resurgence of shoot bud formation and root ramification after a fire. The plants in the Mine Waste quadrat probably originated from seed.

PROPAGATION

Root excavations made in representative areas of each habitat showed that fireweed has a horizontal root with many side branches. Few plants had tap roots. Shoots

emerged at intervals along the main root only. In places where entire root trains were excavated (Fig. 2) in 1977, it was subsequently discovered that small root fragments remaining in the soil sprouted the fol-

lowing year. Such shoots were always small in stature, and none flowered. Roots occasionally penetrated to depths of 30 cm, but were typically found within 8 cm of the surface.

Root to shoot ratios varied between the habitats for fireweed, and ranged between 0.6 and 14.0. Except in mine waste plot two, root weight (Table III) constituted at least 60% of total plant weight. Also, the flowering culm tended to weigh less than 1% of the total for the plant. Clearly, fireweeds at Schefferville are contributing more of their annual photosynthate to vegetative than to sexual tissue, with most of it going to the roots.

Frequency histograms of root age were prepared (Fig. 3) for the different habitats. Mean age was greater in undisturbed areas with a cover of moss or lichen, and was progressively less in roadside mounds, mine wastes, roadside flats and burned areas. Modal age tended to be greatest in areas of mature forest. Extensively disturbed ground generally had more young individuals of fireweed than did the long undisturbed sites, suggesting that fireweed populations have more recently become established in the former habitats.

Other field observations made at Schefferville indicated that the maximum age of fireweed root segments dates to the time of disturbance. At one roadside station, the maximum root age of six years coincided with the known age of the road. On an area of mine waste, the age of the oldest root was just two years short of the time since the dump was abandoned. While there appears to be close agreement between time since disturbance and maximum root age for newly opened ground, up until about ten years, the strength of this relationship weakens with increasing time since disturbance. In areas of mature lichen woodlands, for example, where the lichen mat alone may take not less than 50 years to form, the maximum recorded root age was 26 years. The feather moss forests of Schefferville may not have been grossly disturbed in 200 years, yet the maximum root age found there was just 18 years.

Thirty years may be as long as individual roots of fireweed last at Schefferville. After three decades, their cores seem almost wholly disintegrated and they have only imperfect connections with the other roots of the colony. When contact effectively ceases, the next oldest root becomes the

TABLE III
Root and shoot dry weights and ratios for fireweed at Schefferville¹

Plot	Dry weight (g)		Root to shoot ratio
	roots	shoots	
RS 1	55.8	4.6	12.1
B1	5.9	0.6	9.8
B 2	0.6	0.4	1.5
MW 1	0.4	0.03	13.3
MW 2	4.7	8.0	0.6
LW 2	4.2	0.3	14.0
LW 3	3.8	0.8	4.7

¹ The data were obtained by clipping the shoots and excavating the roots from representative 1 m² quadrats placed alongside the permanent plots.

'patriarch' of the colony. This shift in patriarchy ensures that fireweed will survive in undisturbed sites for many decades, independent of sexual propagation. Each year the plant remains alive, it sends up shoots from small numbers of fixed bud locations along the root. In time, the numbers of shoots diminish, but one can still find traces of previous years' shoots. When disturbance occurs, a phase of prodigious root elongation and ramification ensues, whereby the new roots explore the disturbed soil and send up many new shoots.

It is not known just how important the sexual function is in the repopulation process, but the results of seed trapping studies serve as a guide. In the monitored plots, none of the sticky traps ever caught fireweed seeds. In the seed dispersal site, only 19 fireweed seeds were trapped between mid-August and the first snows of October, 1977. There was no apparent bias with respect to azimuthal displacement from the source plants, but 18 of the 19 seeds were caught less than 8 m from the tagged fruiting shoots. These observations suggest that close to fruits, a seed rain of about 40 seeds.m⁻² is possible. Elsewhere, much lower values are the rule. Observations made in June, 1978, on shoots tagged in the late summer of 1977 showed clusters of seeds and plumes hanging from the dried fruits. Some seeds may have been dispersed during the first winter after flowering, and the others may have been distributed the following

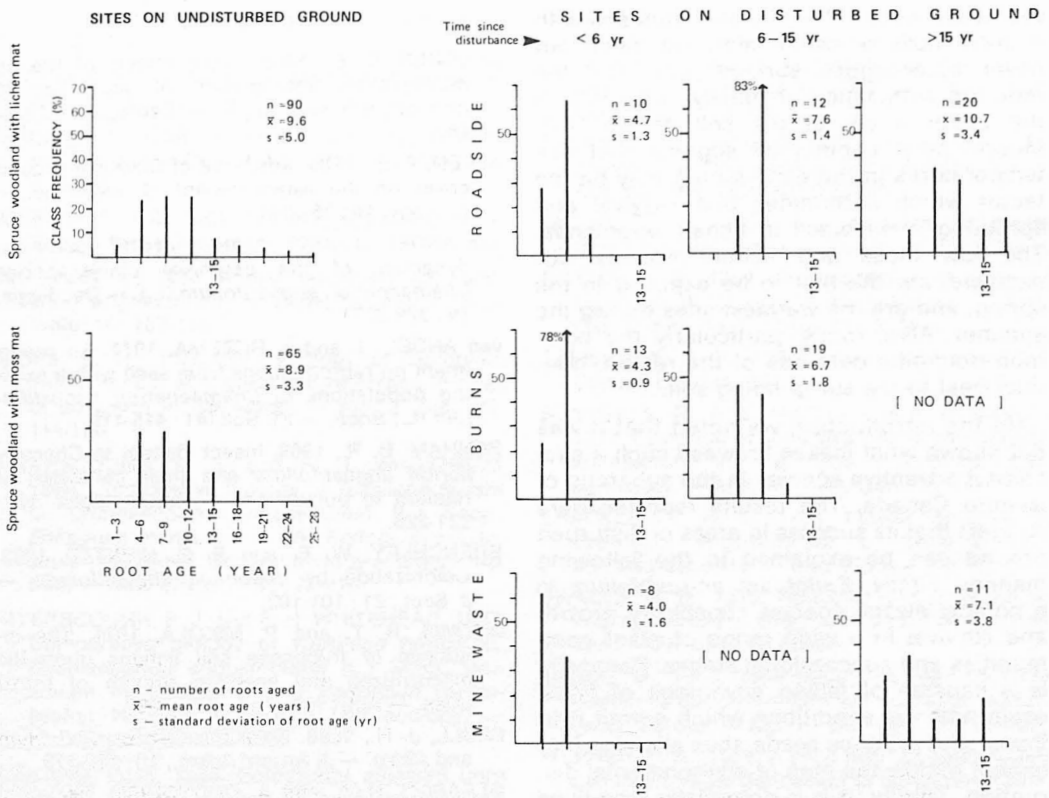


Figure 3. Age-frequency histograms for root segments of fireweed at Schefferville: by habitat-type and time since disturbance.

spring. A large proportion of the seeds produced by fireweed at Schefferville fall to the ground at the base of the shoot on which they were produced.

Conclusions

In newly disturbed ground at Schefferville, fireweed behaves in many respects like an r-strategist, by flowering regularly and producing large numbers of seeds. In the other habitat-types of the area, the species propagates vegetatively to the near exclusion of the sexual mode, and follows the K-strategy. Through the development of an extensive and long-lived system of shallowly buried roots, fireweed colonies can apparently persist for many decades in areas of mature spruce forest where no evidence was found for continuing recruitment of seedlings.

After severe disturbance of the forest cover, fireweed colonies go through a phase of prodigious root growth and the density of

shoots increases. Thus, on roadside mounds neighbouring shoots may be just 0.1 m apart, whereas in areas of mature lichen woodland the spacing ranges between one and three meters.

Even though flowering shoots may produce many thousands of seeds each year, the regional seed rain is very small, reflecting the relatively small number of flowering shoots and their patchy distribution. Except on expanses of mine waste — which can have fragments of old roots buried beneath the surface — seedlings were rarely seen at Schefferville.

In all habitat-types, the favored situations for fireweed shoots were on the perimeter of exposed boulders and rock outcrops, and in elevated humic mounds. While it is difficult to pinpoint the reasons for this micro-habitat preference, it is likely that small-area variations in soil temperature are important. The high average annual rainfall (395 mm.yr⁻¹), combined with the suppres-

sed evaporation rates of water from soil with a thick moss or lichen mat, the damp but never water-logged surface soils, and the reported sufficiency of mineral nutrients in the upper 5 cm of the soil profile (T.R. Moore, pers. comm.) all suggest that soil temperatures in the early spring may be the factor which determines bud survival and sprouting of fireweed in lichen woodlands. The low moss and lichen mounds, for example, are the first to be exposed in the spring, and are the warmest sites during the summer. Also, rocks, particularly the common dolomitic outcrops of the region, conduct heat to the surrounding soil.

In the introduction we noted that it was not known what makes fireweed such a successful adventive species in the subarctic of eastern Canada. The results reported here suggest that its success in areas of disturbed ground can be explained in the following manner. Firstly, *Epilobium angustifolium* is a notably plastic species capable of growth and survival in a wide range of plant communities and successional stages. Secondly, it is capable of taking advantage of novel environmental conditions which permit it to flower and produce seeds, thus allowing it to exploit rapidly the area of environmental disruption. Thirdly, it is a potentially long-lived colonial plant which can persist through vegetative means alone in areas of mature spruce forest, or form dense clumps of shoots, with many of them flowering, in newly disturbed ground. These three listed features, coupled with the fact that fireweed is widespread, impart to the species a formidable advantage over the other herbaceous plants at Schefferville.

Acknowledgements

We acknowledge generous financial support from the Québec Department of Education (F.C.A.C. award program). Dr. and Mrs. Nicholson provided facilities at Schefferville and help in the field. Dr. D. Barr, and his staff of the McGill Subarctic Laboratory, gave logistic support. Messrs. N. Duffy and A. C. Sheppard of the Lyman Entomological Museum and Research Laboratory, MacDonald College, identified Lepidoptera. Drs. G. Gibson, J. McNamara, B. Cooper and J. R. Vockerth, all of the Central Experimental Farm of Agriculture Canada, identified *Bombus*, Coleoptera, Tabanidae and Syrphidae, respectively. Dr. Y. Mäkinen of the University of Turku, Finland, identified the rust fungus found on fireweeds at Schefferville. Claire Gosselin and Abel Sen drafted the diagrams.

References

- AHLGREN, C. E., 1960. Some effects of fire on reproduction and growth of vegetation in northeastern Minnesota. — *Ecology*, 41: 431-445.
- ALLEN, A. E., 1929. Influence of *Cladonia* ground cover on the establishment of seedlings. — *Ecology*, 10: 354-355.
- van ANDEL, J., 1975. A study of the population dynamics of the perennial plant species *Chamaenerion angustifolium* (L.). — *Oecologia*, 19: 329-337.
- van ANDEL, J. and J. ROZEMA, 1974. An experiment on reproductions from seed within existing populations of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. — *Pl. Soil*, 41: 415-419.
- BENHAM, B. R., 1969. Insect visitors to *Chamaenerion angustifolium* and their behaviour in relation to pollination. — *Entomologist*, 102: 221-228.
- BRENCHLEY, W. E. and S. G. HEINTZE, 1933. Colonization by *Epilobium angustifolium*. — *J. Ecol.*, 21: 101-102.
- BROWN, R. T. and P. MIKOLA, 1974. The influence of fruticose soil lichens upon the mycorrhizae and seedling growth of forest trees. — *Acta. for. fenn.*, 141: 4-23.
- FAULL, J. H., 1938. *Pucciniastrum* on *Epilobium* and *Abies*. — *J. Arnold Arbor.*, 19: 163-173.
- GLEASON, H. A. and A. CRONQUIST, 1964. The natural geography of plants. — Columbia Univ. Press, New York, 420 p.
- GRAINGER, J., 1940. Metabolism and flowering. — *Ann. appl. Biol.*, 27: 311-322.
- HARTOG, M., 1942. Plant ecology of burned sites. — *Nature*, 150: 320.
- HOLM, T., 1922. Contributions to the morphology, synonymy and geographical distribution of arctic plants. — *Rep. Can. arct. Exped. 1913-18, Vol. V, Botany*. Ottawa.
- HULTÉN, E., 1971. The circumpolar plants. — *Almqvist and Wiksell*, Stockholm, 463 p.
- HULTÉN, E., 1972. Outline of the history of Arctic and Boreal biota during the Quaternary Period. — *Wheldon & Wesley*, New York, 168 p.
- JENSEN, W. A. and F. B. SALISBURY, 1972. Botany: an ecological approach. — *Wadsworth*, California, 748 p.
- KERNER, A. M. and F. W. OLIVER, 1895. The natural history of plants, Vol. II. — *Blackie*, London, 983 p.
- KEVAN, P. G., 1973. Flowers, insects and pollination in the Canadian high Arctic. — *Polar Rec.*, 16: 667-674.
- LANGENHEIM, J. H., 1956. Plant succession in a subalpine earthflow in Colorado. — *Ecology*, 37: 301-317.
- LECHOWICZ, M. J. and M. S. ADAMS, 1978. Diurnal and seasonal structure of the climate

- at Schefferville, Québec. — *Arct. Alp. Res.*, 10: 95-104.
- LEOPOLD, A. C., 1961. Senescence in plant development. — *Science*, 134: 1727-1732.
- MÄKINEN, Y., 1966. On the macroecology of some rust fungi. — *Rep. Kevo Subarctic Res. Stn.*, 3: 75-84.
- MEEUSE, B. J. D., 1961. The story of pollination. — Ronald Press, New York, 243 p.
- MOSQUIN, T., 1966. A new taxonomy for *Epilobium angustifolium* L. (Onagraceae). — *Brittonia*, 18: 167-188.
- MOSS, E. H., 1936. The ecology of *Epilobium angustifolium* with particular reference to rings of periderm in the wood. — *Am. J. Bot.*, 23: 114-120.
- MYERSCOUGH, P. J. and F. H. WHITEHEAD, 1966. Comparative biology of *Tussilago farfara* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Epilobium montanum* L. and *Epilobium adeno-caulon* Huskn. I. General biology and germination. — *New Phytol.*, 65: 192-210.
- MYERSCOUGH, P. J. and F. H. WHITEHEAD, 1967. Comparative biology of *Tussilago farfara* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Epilobium montanum* L. and *Epilobium adeno-caulon* Huskn. II. Growth and ecology. — *New Phytol.*, 66: 785-823.
- NEILAND, B. J., 1958. Forest and adjacent burn in the Tillamock burn area of northeastern Oregon. — *Ecology*, 39: 660-671.
- NEITHAMMER, A., 1927. Keimungsphysiologische Studien unter Hervorhebung des Lichtkeimungsproblems. — *Biochem. Z.*, 185: 205-215.
- OLSEN, C., 1925. Studies on the hydrogen ion concentration of the soil and its significance to the vegetation, especially to the natural distribution of plants. — *C. r. Trav. Lab. Carlsberg*, 15: 1-166.
- RAVEN, P. H., 1976. Generic and sectional delimitation in Onagraceae, Tribe Epilobieae. — *Ann. Mo. bot. Gdn.*, 63: 326-340.
- RIDLEY, H. N., 1930. The dispersal of plants throughout the world. — Reeve, Ashford, 744 p.
- RITCHIE, J. C., 1959. The vegetation of northern Manitoba. III. Studies in the Subarctic. — *Arct. Inst. N. Am.*, Tech. Paper No. 3, 56 p.
- SALISBURY, E. J., 1961. Weeds and aliens. — Collins, London, 384 p.
- SEAVEY, S. R., R. E. MAGILL and P. H. RAVEN, 1977. Evolution of seed size, shape and surface architecture in the tribe Epilobieae (Onagraceae). — *Ann. Mo. bot. Gdn.*, 64: 18-47.
- SHACKLETTE, H. T., 1964. Flower variation of *Epilobium angustifolium* L. growing over uranium deposits. — *Can. Fid Nat.*, 78: 32-42.
- SWALES, D. E., 1979. Nectaries of certain Arctic and sub-Arctic plants, with notes on pollination. — *Rhodora* (in press).
- UNRUH, M., 1950. Neue Beobachtungen über die Rhythmik der Symmetrie am zurstreut beblätterten Spross. — *Ber. dt. bot. Ges.*, 63: 88-96.
- WERNER, P. A., 1975. A seed trap for determining patterns of seed deposition in terrestrial plants. — *Can. J. Bot.*, 53: 810-812.
- YARRANTON, G. A. and W. J. BEASLEIGH, 1974. Ecological strategy and tactics of *Equisetum sylvaticum* during a postfire succession. — *Can. J. Bot.*, 52: 2299-2318.

ADDITIONS TO THE VASCULAR PLANT FLORA OF NAHANNI NATIONAL PARK, NORTHWEST TERRITORIES

William J. CODY

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

George W. SCOTTER

*Canadian Wildlife Service, Western and Northern Region,
Environment Canada, Edmonton, Alberta, T5K 2J5*

and

Stephen S. TALBOT¹

*Forest Management Institute, Environment Canada,
Ottawa, Ontario, K1G 3Z6*

Résumé

Des études botaniques récentes dans le Parc national de Nahanni ont ajouté beaucoup d'informations sur la flore du parc. Dans ce travail, 200 taxons sont mentionnés pour le parc pour la première fois, 64 sont nouveaux pour les monts Mackenzie, 4 sont nouveaux pour la région des basses terres de la partie sud du District de Mackenzie et 5, *Ruppia spirillis*, *Carex eleusinoides*, *C. heleonastes*, *Liparis loeselii* et *Drosera linearis*, sont des additions à la flore de la partie continentale des Territoires du Nord-Ouest.

Abstract

Recent botanical studies in Nahanni National Park have added considerable information on the flora of the Park. In this paper, 200 taxa are reported as new to the Park, 64 are new to the Mackenzie Mountains, 4 are new to the southern lowland region of the District of Mackenzie, and 5, *Ruppia spirillis*, *Carex eleusinoides*, *C. heleonastes*, *Liparis loeselii*, and *Drosera linearis* are new to the flora of the Continental Northwest Territories.

Introduction

Scotter and Cody (1974) presented a description of the vegetation and an annotated list of the vascular plants of Nahanni National Park, which is located in the southern Mackenzie Mountains in southwestern District of Mackenzie (Fig. 1). That paper was based on the extensive plant collections of Scotter, within the park, and Cody, in areas adjacent to the Park, gathered prior to the actual designation of the Park.

Since the original work, several more detailed studies of the vegetation have been undertaken by the Canadian Wildlife Service

and the Forest Management Institute for Parks Canada. In these studies, over 700 sample locales that spanned the Park to show the spectrum of variation within the various plant communities, were studied. Large collections of vascular plants, which have greatly increased our knowledge of the flora of the Park, have resulted from these surveys. Thus, as well as having more extensive series of the commoner species previously known from this botanically most interesting area, many species are now known to occur within the Park boundaries, which were not previously recorded from there. These items are reported in the present

¹ Present address: U.S. Fish & Wildlife Service, Endangered Species Division, P.O. Box 1306, Albuquerque, N.M. 87103, U.S.A.

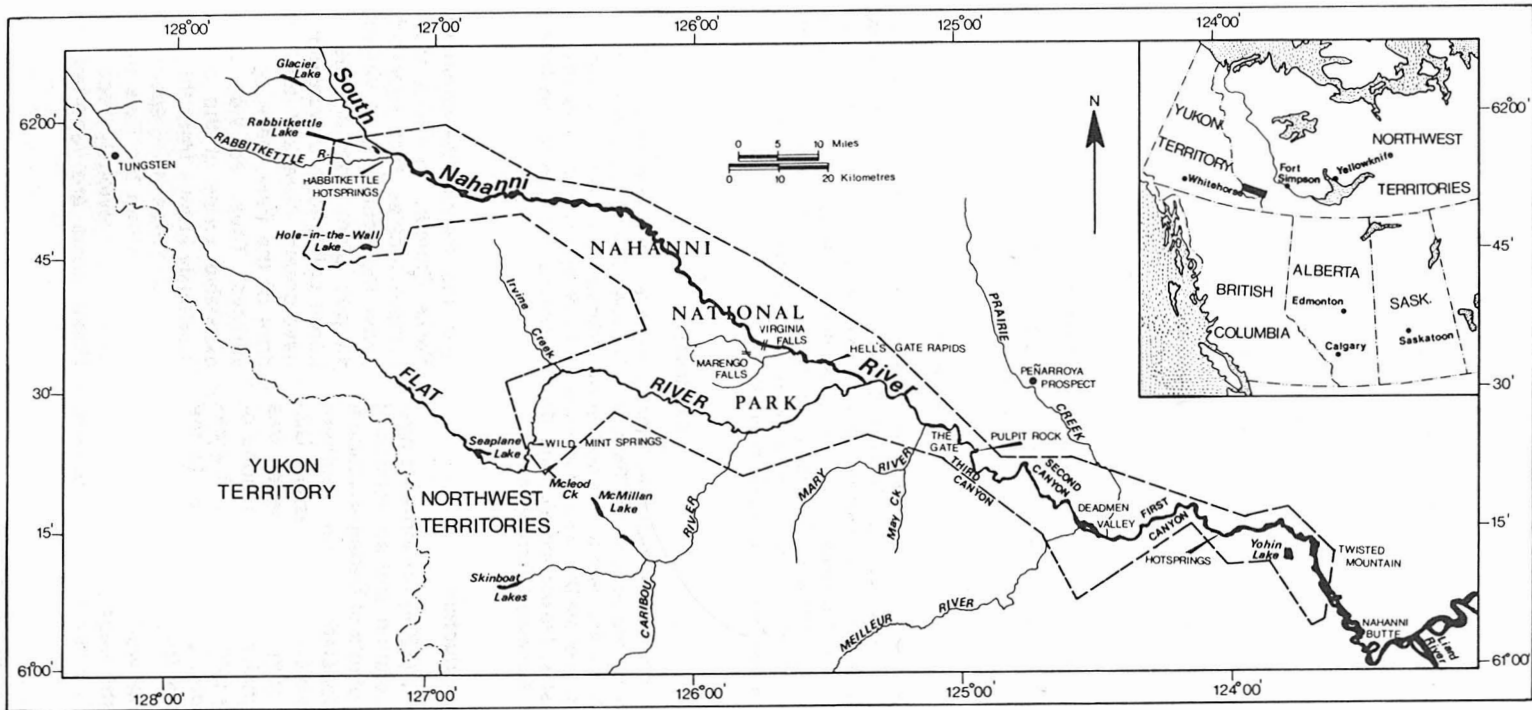


Figure 1. Map of Nahanni National Park.

paper, which has been brought together at this time because the detailed surveys within the Park are now terminated, and further surveys are precluded because of restricted budgets. Indeed, the thoroughness of the surveys which have taken place since our earlier paper (Scotter and Cody, 1974) would lead us to venture that very few species could be added to the Park flora in any future study.

Scotter and Cody (1974) reported a total of 483 taxa collected by them in the South Nahanni and Flat River drainages. Of this number, 433 were found in Zone 1 of Porsild and Cody (1968), the Mackenzie Mountains, 140 were found in Zone 6, the southern lowland region of the District of Mackenzie, and 90 were common to both zones. Of the 200 taxa reported as new to Nahanni National Park in this paper, 62 are new to Zone 1, 4 are new to Zone 6, and 5 are new to the flora of the Continental Northwest Territories.

An examination of the ranges of the taxa reported here shows that of the 160 in Zone 1 of Porsild and Cody (1968), 57 are circumpolar in distribution, 57 are more or less broad ranging North American, 21 are Amphiberingian, 16 are Cordilleran, 6 are endemic to the Alaska-Yukon-western Mackenzie region, 1 is Amphi-Atlantic, and 2 are introduced from the Old World. Thus, for Nahanni National Park and adjacent regions covered by this and the previous paper (Scotter and Cody, 1974), the affinities of the various taxa in Zone 1 are: Circumpolar 214, broad ranging North American 187, Amphiberingian 101, Cordilleran 50, endemic 29, Amphi-Atlantic 4, and introduced 7, making a total of 592 taxa. This figure of 592 is 309 greater than the total reported by Raup (1947) from Brintnell Lake, just north of our area, an area which he studied in great detail during the summer of 1939. The reason for this extremely rich vascular flora is no doubt the presence of highly specialized habitats such as wet calcareous substrates, mist zones, hot springs, cold springs and unglaciated terrain, which are found in the study area. This richness is also reflected in the bryophyte flora as brought out by Steere *et al.* (1977) and Steere and Scotter (1978).

The dates and places visited by the various collectors are as follows: Anna L. Cairns, Canadian Wildlife Service, junction of the Flat and Nahanni Rivers, June–August 1977; H. M. Kershaw, Canadian Wildlife Service, Prairie Creek fan in Deadman Valley, June–August 1976; Thomas D. Lee, University of

Illinois, worked with Talbot at numerous localities, 2 July–15 Aug. 1976; A.H. Marsh, Canadian Wildlife Service, numerous localities, June–Sept., 1974, 1975, 1976; Bernard J. J. Meuleman, Forest Management Institute worked with Talbot at numerous localities 8 July–11 Aug. 1975, and at numerous localities by himself, 2 July–1 Sept. 1976; from 1974 to 1976, George W. Scotter spent 2 to 3 weeks in the field each year visiting numerous sites; Stephen S. Talbot visited numerous sites during three years of field work: 8 July–11 Aug. 1975, 2 July–15 Aug. 1976, and 29 July–2 Sept. 1977; and R. D. Wickstrom, Canadian Wildlife Service, visited a number of lakes studying aquatic life, in June and July 1976.

The specimens cited in this paper are preserved in the Agriculture Canada Herbarium at Ottawa (DAO). For identification purposes, the collector's number is preceded by the surname initial. Meuleman collection numbers are hyphenated, while those of Marsh are not. Specific locations and more detailed ecological data for individual collections are available from the authors. Taxonomy follows *Vascular Plants of the Continental Northwest Territories* (Porsild and Cody, *in press*). Taxa reported as new to Nahanni National Park are indicated (P). In addition, where collections from within the park represent new records for either the Mackenzie Mountains (Zone 1 of Porsild and Cody, 1968), or the southern lowland region of the District of Mackenzie (Zone 6 of Porsild and Cody, 1968), they are indicated (M) and (L) respectively. Taxa which are also new to the Continental Northwest Territories are indicated (N).

Annotated list of additions

OPIHOGLOSSACEAE

Botrychium lunaria (L.) Sw. ssp. *minganense* (Vict.) Calder & Taylor — Area surrounding Wild Mint Springs, S24165. Previously known in the Mackenzie Mountains from "Grizzly Bear" Lake (Scotter and Cody, 1974) and Lone Mountain (Raup, 1947). (P)

POLYPODIACEAE

Cryptogramma crispum (L.) R. Br. var. *sitchensis* (Rupr.) Hultén — Subalpine *Betula glandulosa*-*Vaccinium uliginosum*-*Hylocomium splendens* community, T6102-X-1. Previous collections of this variety from the Mackenzie Mountain region (Zone 1 of Porsild and Cody, 1968) were

from the headwaters of the Flat River (Scotter and Cody, 1974) and Glacier Lake (Raup, 1947). (P)

Dryopteris dilatata (Hoffm.) Gray [*D. austriaca* (Jacq.) Woynar] — Subalpine *Abies lasiocarpa* woodland, T6011-1, T6187-13. Otherwise known in the District of Mackenzie only from the headwaters of the Flat River (Scotter and Cody, 1974). (P)

Dryopteris phegopteris (L.) C. Chr. [*Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt] — Subalpine *Heracleum lanatum*-*Geranium richardsonii*-*Brachythecium* sp. community, T6186-X. The only other collection thus far reported from the Continental Northwest Territories was collected in the headwaters of the Flat River near the Yukon-Mackenzie border (Scotter and Cody, 1974). (P)

Dryopteris spinulosa (O. F. Mull.) Watt — Subalpine *Betula glandulosa*-*Cladina alpestris*-*C. rangiferina* community, T6184-X. The only other collection of this species from the District of Mackenzie is from woods north of the height of land between Great Slave and Great Bear Lakes (Raup, 1947). (P,M)

Pellaea glabella Mett. var. *nana* (Richards.) Cody — Limestone walls of Dry Canyon, S23507. This is only the third collection from the Continental Northwest Territories (Cody, 1963; Raup, 1947). (P)

Polypodium vulgare L. ssp. *virginianum* (L.) Hultén — Open deciduous dwarf scrub dominated by closed lichen and moss cover, T5023-A1, T6102-X. Thus far reported from Zone 1 of Porsild and Cody (1968) only from Mt. Coty opposite Ft. Liard. (P)

Woodsia ilvensis (L.) R. Br. — Alpine and subalpine area, S23473. Reported by Raup (1947) from Brintnell Lake, but not otherwise known from the Mackenzie Mountains. (P)

EQUISETACEAE

Equisetum variegatum Schleich. — Previously known from Nahanni National Park by only two collections (Scotter and Cody, 1974), but now known in the Park from at least 12 additional collections.

LYCOPODIACEAE

Lycopodium clavatum L. var. *monostachyon* Grev. & Hook. — Alpine and subalpine areas, S23476, T6071. Previously known in the Mackenzie Mountains from only two locations (Raup, 1947; Scotter and Cody, 1974). (P)

Lycopodium obscurum L. var. *dendroideum* (Milde) D. C. Eaton — Montane and subalpine areas, S23498, T6107-X. The only other collections from Zone 1 of Porsild and Cody (1968) are from the slopes of the Liard Range [Jeffrey, 1961, and Cody (unpublished)]. (P)

TYPHACEAE

Typha latifolia L. — Floodplain near mouth of Praire Creek, S23382. Previously reported from Nahanni National Park on the basis of a collection from Yohin Lake (Scotter and Cody, 1974), and now also known in that area from other collections (M6057-3, T5019-1) (M)

SPARGANIACEAE

Sparganium angustifolium Michx. — Lakes and ponds, T5077-43, M5534, M5537, S23647. (P)

Sparganium minimum (Hartm.) Fries — Marsh, T5041-C. The second collection for Nahanni National Park (Scotter and Cody, 1974).

POTAMOGETONACEAE

Potamogeton alpinus Balbis ssp. *tenuifolius* (Raf.) Hultén — Ponds, M6572, T5077-23, T6218-X-1. The only other collections from Zone 1 of Porsild and Cody (1968) are from Dal Lake, 63°07'N, 126°30'W, Cody 17620 (DAO) and June Lake, 63°30'N, 128°40'W, Cody 17462 (DAO). (P)

Potamogeton filiformis Pers. var. *borealis* (Raf.) St. John — Cool ponds and hot spring sites, T6235-X-1, W860.1 (P)

Potamogeton foliosus Raf. — Lakes and ponds, S23646, T6240-X-1. Apparently a rare species in southern District of Mackenzie (Cody, 1956). (P, M)

Potamogeton friesii Rupr. — Lakes, S23404, S23445, M5541. (P,M)

Potamogeton gramineus L. — Ponds and fens, T6032-20, T6213-4, T6231-10, T6240-X-2, T6240-X-4. (P)

Potamogeton pectinatus L. — Shallow eutrophic lake, W803.20. (P)

Potamogeton pusillus Rupr. — Upland tarn, W843.7. This is the second collection from the Mackenzie Mountains. The specimen cited by Scotter and Cody (1974) was from the headwaters of the Flat River west of the Park. (P)

Potamogeton richardsonii (Benn.) Rydb. — Lakes and ponds: S23401, S23652, T5077-1, M5536, T6218-X-3. (P)

Potamogeton vaginatus Turcz. — Lakes, S23399, M5535. (P,M)

Ruppia spiralis L. — In shallow water of Yohin Lake, 61°12'N, 123°46'W, W803.1, W803.2. This site in Nahanni National Park is widely disjunct from stations in southern Alberta and Saskatchewan and coastal Alaska. (P,L,N)

SCHEUCHZERIAEAE

Scheuchzeria palustris L. var. *americana* Fern. — Lowland and montane fens and marshes, S23418, T5022-3, T5063-A, M6022, T6241-2. The distribution of *Scheuchzeria palustris* in northwestern

North America was reviewed by Cody (1975). (P,M)

GRAMINEAE

Agropyron trachycaulum (Link) Malte var. *glaucom* (Pease & Moore) Malte — Savanna, M5008-21. The only site for this variety reported by Scotter and Cody (1974) was Nahanni Butte. (P)

Agropyron trachycaulum (Link) Malte var. *unilaterale* (Cassidy) Malte [*A. subsecundum* (Link) Hitchc.] — Open communities, M5118, S23250, M5872, C1323. Previously recorded in the lowlands of the Liard River, to the south (Jeffrey, 1961) of Nahanni National Park. (P)

Agrostis borealis Hartm. — Evergreen microphyllous dwarf scrub communities and along lakeshores, T5024-B, T5088-A2. The nearest known site is in the Yukon Territory adjacent to the Canol Road near the Yukon — Mackenzie border (Porsild, 1951). (P, M)

Alopecurus aequalis Sobol — Lowlands and flood plains, M6247, T6223-X-1. Reported by Scotter and Cody (1974) from the nearby lowlands at Nahanni Butte. (P)

Calamagrostis inexpansa A. Gray — Meadows and dwarf scrub communities, T5018-8, C1338, M6066-1, M6025-13, M5005-6. This species, which often dominates floodplain meadows, is found north along the Mackenzie River to its delta. (P)

Danthonia intermedia Vasey — Forest openings and alluvial fens along the south Nahanni River, M6393A, M6411, M6491, M6535, K1024, T5049-9. The only other site for this species in the District of Mackenzie is at 61°15'N, 124°03'W, which lies in Zone 6 of Porsild and Cody (1968). (M)

Deschampsia brevifolia R. Br. — Alpine communities, T5099-1, T5099-8, T5099-9, T6246-1. The "Grizzly Bear" Lake site reported by Scotter and Cody (1974) is some 80 km north of the west end of the Park and some 150 km north-west of the stations reported here. (P)

Elymus sibiricus L. — Floodplains along the South Nahanni River at least as far upstream as the junction with the Flat River, K1013, Talbot s.n., S23384, C1355, C1356, S24177, M6010-25. This grass has been reported from a number of sites along the Liard River (Cody, 1963; Scotter and Cody, 1974). It may be introduced in the Park. (P)

Festuca baffinensis Polunin — Alpine community, T6145-2a. This is only the second collection from Nahanni National Park (Scotter and Cody, 1974).

Festuca brachyphylla Schultes, "proliferous form" — Alpine community, T6074-X. Typical *Festuca brachyphylla* is frequent in alpine communities in the Mackenzie Mountains. This proliferous form is, however, of rare occurrence.

Festuca rubra L. s.l. — Subalpine *Betula glandulosa*-*Abies lasiocarpa*-*Barbilophozia* commu-

nity. This grass, which is undoubtedly a rare native, is known elsewhere in the Mackenzie Mountains from along the Canol Road. (P)

Glyceria borealis (Nash) Batchelder — Lakeshore, S23213. The only other collections from the District of Mackenzie are from adjacent to Great Slave Lake, the Slave River and eastward to Thekulthili Lake at 61°12'N, 110°00'W. (P, M)

Oryzopsis asperifolia Michx. — Montane *Pinus contorta*-*Juniperus communis*-*Hylocomium splendens* community, T6084-11. Elsewhere in the District of Mackenzie this species is only known from the Salt Plain west of Fort Smith (Raup, 1936) and along the Enterprise — Mackenzie Highway (Thieret, 1963). (P, M)

Oryzopsis pungens (Torr.) Hitchc. — Open grass — sedge community on Prairie Creek fan, K979. This grass has been collected numerous times south of Great Slave Lake, but is apparently rare northward to Great Bear Lake. (P, M)

Phleum commutatum Gaud. (*P. alpinum pro parte*) — Subalpine community near Hole-in-the-Wall Lake, T6011-14. Reported from this locality by Porsild (1961). Also noted by Scotter but not collected at a hot spring near the headwaters of the South Nahanni River, 62°22'N, 128°39'W, on 15 Oct. 1976 and collected by Cody from three other localities in the Mackenzie Mountains (Cody 16861, 17685, 17835).

Poa jordalii Porsild — Alpine community near Hole-in-the-Wall Lake, T6145-1. This species which was described from specimens collected in the Brooks Range of northern Alaska, has recently been recorded from the Mackenzie Mountains (Cody and Porsild, 1968). (P)

Poa paucispicula Scribn. & Merr. — Communities near Hole-in-the-Wall Lake, S24218, S24222. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. Raup (1947) cited several collections from the Glacier Lake region. (P)

CYPERACEAE

Carex aenea Fern. — Open wooded fen, T5071-A. (P, M)

Carex aquatilis Wahlenb. var. *stans* (Drej.) Boott — Margin of small lake on alpine plateau, T5099-34. (P)

Carex atherodes Spreng. — Fresh water swamp/seepage areas and wet sedge meadows, M4918, M5526. (P, M)

Carex atosquama Mack. — Alpine communities, T6102-38A, T5073-1. The specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, outside the Park. (P)

Carex aurea Nutt. — Floodplains and open forest situations, M6105-6, S23352, T5016-A, T5002-1, T5040-A, T5078-1, T6142-6. (P)

- Carex chondorrhiza* Ehrh. — Marshes and fens, T5022-1, T5022-4, T6271-12, T6275-8, T6250-9, T6241-4, M6143-8, T6225-6. (P, M)
- Carex deflexa* Hornem. — Subalpine scrub community with scattered trees, T5028-19. (P)
- Carex diandra* Schr. — Fens, marshes and wet situations: previously recorded from the Park from a single locality at 61°25'N, 126°36'W, (Scotter and Cody, 1974), but now known from numerous collections from 123°44'W to 126°58'W.
- Carex disperma* Dewey — Yohin Lake area and floodplain of South Nahanni River, S23444, T5067-A, S23378. (P, M)
- Carex eleusinoides* Turcz. (*C. kokrinensis* Porsild) — Wet gravelly areas near Hole-in-the-Wall Lake, 61°46'N, 127°16'W, S24276. This is an amphiberingian species which is found in moist, alpine riverbank and floodplain meadows in central Alaska and the Yukon Territory. The nearest known locality to that cited here is the Macmillan River at Mile 280 Canol Road in the Yukon Territory. (Porsild, 1951). (P, M, N)
- Carex garberi* Fern. var. *bifaria* Fern. — Lakeshores and lowland scrub areas, S23428, T6021-33, S24235. (P, M)
- Carex heleonastes* Ehrh. — Infrequent in bogs, junction of Flat and Nahanni Rivers, 61°32'N, 125°23'W, C1136. This is a northern peat bog species which occurs infrequently across the continent from Ungava to Alaska. The nearest reported collection is from the Liard Hot Springs in northern British Columbia (Porsild, 1961). (P, M, N)
- Carex interior* Bailey — Montane and lowland fen communities, T6265-25, T6244-7. This is apparently a rare species in the District of Mackenzie: the second report for the District was from 61°15'N, 124°03'W, in Nahanni National Park (Scotter and Cody, 1974).
- Carex lachenalii* Schk. — Alpine, T5099-1, T-5089-1. Apparently rare in Nahanni National Park: the only collection reported by Scotter and Cody (1974) was from south-southeast of Hole-in-the-Wall Lake.
- Carex leptalea* Wahl. — Lowland fens, lakeshores and open coniferous woods, T6265-26, S23443, M6138-7. (P, M)
- Carex limosa* L. — Bogs and fens, M5012-2, T6253-1, T6250-18, T6241-6, M6142-9, M6139-5, T6242-8, T6236-10, T6224-2. Previously recorded from the lowlands of Nahanni National Park about Yohin Lake. (M)
- Carex loliacea* L. — Floodplains, lakeshores and open coniferous woods, M4881, M6138-17, S24267. (P, L)
- Carex lugens* Holm — Alpine, T6258-19, T6256-4, T6254-2, T6255-27. (P)
- Carex paupercula* Michx. — Lowland and subalpine open deciduous scrub, fens and bogs, T5067-5, T6268-24, T5019-2, T6032-10, T6011-16. This species was reported from Hole-in-the-Wall Lake by Porsild (1961).
- Carex pyrenaica* Wahl. — Alpine, T6169-1, T6167-1. The specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River. (P)
- Carex rupestris* All. — Dry alpine sites, T6077-12, T6227-2, T6129-19, T6222-35, T6204-9. This species was reported from the Plains of Abraham (Raup, 1947) and is known as well from several other sites in the Mackenzie Mountains (Cody, unpublished). (P)
- Carex tenuiflora* Wahl. — A lowland species found in fens and scrub areas near Yohin Lake, S23407, T5022-1, T5067-B, T6268-25-B, T6274-24. (P)
- Carex vaginata* Tausch — Lowland coniferous and scrub to alpine graminoid tundra, M6183-1, T5026-16, T6247-27, M6071-10, M6108-12, M6113-3 and numerous other collections. (P)
- Carex williamsii* Britt. — Rare in alpine meadows, S23575. (P)
- Eleocharis acicularis* (L.) R. & S. — Lowland fen, T6233-X-2. (P, M)
- Eriophorum callitrix* Cham. — (*E. scheuchzeri* sensu Scotter and Cody, 1974 *pro parte*) alpine and wet lowland black and white spruce communities, S12633, M5422, S23218. (P)
- Eriophorum gracile* Koch — Montane and lowland muskeg and fens, T6242-X-7, M6021-8, T6237-4. (P, M)
- Eriophorum russeolum* Fries var. *albidum* Nyl. — Lowland marshes and alluvial fans, T6264-10, M6005. (P, M)
- Eriophorum viridi-carinatum* (Engelm.) Fern. — *Potentilla fruticosa*-*Anemone parviflora*-*Tofieldia glutinosa* community, T6021-16. Previously reported from Zone 1 of Porsild and Cody (1968) by Cody (1978). (P)
- Kobresia myosuroides* (Vill.) Fiori & Paol. — Alpine, T6074-35, T6243-33, T6217-5. (P, M)
- Scripus microcarpus* Presl — Floodplain near mouth of Prairie Creek, S23354. Previously recorded from the lowlands of Nahanni National Park near Yohin Lake. (M)
- Scripus rollandii* Fern. — Lowland *Potentilla fruticosa*-*Anemone parviflora*-*Tofieldia glutinosa* community, T6021-42. Previously reported from Zone 1 of Porsild and Cody (1968). (P)

JUNCACEAE

- Juncus albescens* (Lange) Fern. — Alpine and subalpine communities, T5024-11, T6076-8, K109, S23576, T6021-21, T6142-16B, T6127-6. The "Grizzly Bear" Lake site reported by Scotter and Cody (1974) is outside the Park, and the species is known from elsewhere in the Mackenzie Mountains (Raup, 1947; Cody, unpublished). (p)
- Juncus biglumis* L. — Alpine communities on the Tlogotsho Plateau, S24200, T6257-1. (P)

Juncus drummondii E. Mey. — Alpine, T5099-2, T5089-2, T5001-A, T5001-A-3, T6171-22. Elsewhere in the Mackenzie Mountains, this species is known from the Canol Road at Macmillan Pass, and at Britnell Lake (Raup, 1947). (P)

Luzula arcuata (Wahlenb.) Sw. — Alpine communities, T5099-3, T6098-30, T6064-9, S24219, T5089-3, T6169-7. The specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Luzula groenlandica Böcher — Alpine *Betula glandulosa*-*Vaccinium vitis-idaea*-*Cetraria ericetorum* community, T6098-8. A specimen (Jeffrey 393) which was reported by Jeffrey (1961) from the Liard Range as *L. multiflora* ssp. *frigida*, is *L. groenlandica*. (P)

Luzula multiflora (Retz.) Lej. ssp. *frigida* (Buch.) Kretz. var. *contracta* Sam. — Subalpine scrub communities, T5028-A4, S24220, S24258. (P)

Luzula nivalis (Laest.) Beurl. — Lichen tundra and evergreen microphyllous dwarf scrub, T5027-15, T5024-X-1. (P)

Luzula spicata (L.) D.C. — Alpine, T6098-28, T6066-X, S24217, S24270. The collection cited by Scotter and Cody (1974) was from the headwaters of the Flat River, outside the Park. (P)

Luzula wahlenbergii Rupr. — Alpine *Salix arctica*-*Aulocomnium palustre*-*Drepanocladus uncinatus* community, T6171-15. (P)

LILIACEAE

Maianthemum canadense Desf. var. *interius* Fern. — Nahanni Hotsprings, and nearby subalpine scrub communities, M5983, T5028-15. Previous collections from Nahanni National Park were from the lowlands near Yohin Lake and thus situated in Zone 6 of Porsild and Cody (1968). (M)

Smilacina trifolia (L.) Desf. — Fens and wet situations about Yohin Lake, S23438, T5022-1, M6047A-1. (P)

Veratrum eschscholtzii Gray — Subalpine communities near Hole-in-the-Wall Lake, S24283, T6011-4. Previously reported from the Liard Range in Nahanni National Park by Porsild (1961).

ORCHIDACEAE

Calypso bulbosa (L.) Oakes — Open deciduous and coniferous woodland on floodplains and terraces, S23528, S23377, M6103, M6003-A, M6076-3, T5047-1. (P)

Habenaria orbiculata (Pursh) Torr. — Open to closed spruce forests on terraces and floodplains, T5031-A, T5033-1, M6038-1, S23529, K152, M6349. (P, M)

Liparis loeselii (L.) Rich. — Evergreen dwarf scrub bog dominated by *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus microcarpus* and *Sphagnum* on

island in Yohin Lake, 61°13'N, 123°47'W, T5019-1; lowland *Carex aquatilis*-*Myrica gale* shrub fen, 61°13'N, 123°46'W, T6272-X-1. This site is disjunct by some 1450 km from the nearest known locality south of the Saskatchewan River in Saskatchewan. (P, L, N)

Listera cordata (L.) R. Br. — Subalpine, T6184-X, T6011-2. Previously known from the Continental Northwest Territories from only two locations: Liard Range (Jeffrey, 1961) and Hole-in-the-Wall Lake (Porsild, 1961), both in the southern Mackenzie Mountains.

Orchis rotundifolia Banks — Previously recorded from Zone 1 of Porsild and Cody (1968) from a single collection in Nahanni National Park (Scotter and Cody, 1974), but now known from at least a dozen collections in the Park, as well as collections in the Mackenzie Mountains from as far north as 65°N (Cody, unpublished).

Spiranthes romanzoffiana Cham. & Schlecht. — Bogs, fens and poorly drained floodplains, T5022-1, T5022-2, S24178, M5011-15, Carbyn 25/75b, and several other collections. (P, M)

SALICACEAE

Salix athabascensis Raup — Lowland to montane swamps, marshes and savannas, T5018-9, T6253-21, T5047-E, M6143-1, T6140-3, T6235-11, M6020-2, T6220-8, T6230-1. (P, M)

Salix brachycarpa Nutt. ssp. *brachycarpa* — Lowland to montane and alpine scrub communities, T6021-38, T6140-1, T6204-1. (P, M)

Salix candida Fluegge — Lowland to montane coniferous swamp savannas, marshes and fens, T5008A, T6250-2, M6103-1, T6230-1-C. Previously known from Nahanni National Park from a single collection (Scotter and Cody, 1974) but recently recorded from a number of localities in the Keele River drainage system (Cody, 1978).

Salix commutata Bebb — Subalpine *Salix planifolia*-*S. reticulata*-*Hylocomium splendens* community, T6177-36. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River and "Grizzly Bear" Lake, west and north of the Park. (P)

Salix dodgeana Rydb. — Alpine, uplands and meadows, S22749, S23570, T6243-37, T6204-X-1. (P)

Salix lutea Nutt. — Riparian shrub, 61°12'N, 123°41'W, M6058-1. (P)

Salix niphoclada Rydb. — Dwarf steppe scrub dominated by *Dryas drummondii*, M6010-17. (P)

Salix polaris Wahl. — Alpine plateaus, T5024-27, T5099-1, T6144-8. (P)

Salix scouleriana Barratt — Montane to open coniferous-dwarf scrub areas, T6105-7, T6086-40, T5044-2, M6110-1, T6046-6, M6092-6. (P)

BETULACEAE

Betula occidentalis Hook. — Floodplain near mouth of Prairie Creek, K675, S23338, S23339. (P)

Betula pumila L. var. *glandulifera* Regel — Prairie creek fan, K664. (P, M)

POLYGONACEAE

Oxyria digyna (L.) Hill — Alpine plateau, Tlogotsho Range, T5099-4. Previously reported from Nahanni National Park only from the vicinity of Hole-in-the-Wall Lake (Porsild, 1961).

Polygonum amphibium L. var. *Stipulaceum* (Coleman) Fern. — Lowland *Carex aquatilis*-*Potentilla palustris*-*Scorpidium scorpioides* fen, T6032-X. (P)

PORTULACACEAE

Claytonia tuberosa Pall. — Alpine communities on the Tlogotsho Range, S24214, T6246-X-1. The specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from "Grizzly Bear" Lake and the headwaters of the Flat River, west and north of the Park. (P)

CARYOPHYLLACEAE

Arenaria humifusa Wahlenb. — Vicinity of Virginia Falls, S22811, S23623. (P)

Melandrium taylorae (Robins.) Tolm. — Alpine plateau, Tlogotsho Range, T5099-5. (P, M)

Minuartia arctica (Stev.) Ash. & Graebn. [*Arenaria arctica* Stev.] — Evergreen microphyllous dwarf scrub community, T5024-8, T5027-18. (P)

Minuartia biflora (L.) Schinzl. & Thell. [*Arenaria sajanensis* Willd.] — Alpine uplands and meadows, S23573, T6252-11. (P)

Moehringia lateriflora (L.) Fenzl [*Arenaria lateriflora* L.] — Dry slopes above Yohin Lake, S23450.

Silene acaulis L. var. *subacaulescens* (F. N. Williams) Fern. & St. John — Alpine and subalpine, T5025-3, T5099-6, T5056-7, T5037-12, T5082-5, T5073-2. (P)

Stellaria calycantha (Ledeb.) Bong. — Lowland to montane, T6108-15, S24184, S24250, T6177-11, T5001-6. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, outside the Park. (P)

Stellaria longifolia Muhl. — Pond margins and moist to dry sedge meadows, T5068-A, S23654, M5365, and several other collections. (P, M)

RANUNCULACEAE

Anemone drummondii Wats. — Alpine communities, S23592. (P)

Anemone richardsonii Hook. — Alpine and subalpine communities, S24241, T6157-19, T6152-6, T6159-17, T6171-2. (P)

Pulsatilla ludoviciana (Nutt.) Heller — Montane *Pinus contorta*-*Rosa acicularis*-*Linnaea borealis* community, T6034-26. (P)

Ranunculus abortivus L. — Subalpine *Heracleum lanatum*-*Athyrium filix-femina*-*Galium triflorum* community, T6011-29. (P)

Ranunculus aquatilis L. var. *eradicatus* Laest. — In lake, T5088-A1. (P, M)

Ranunculus aquatilis L. var. *subrigidus* (Drew) Breitung — Montane and lowland ponds, T5077-25, T6240-X-3. (P, M)

Ranunculus cymbalaria Pursh — Fresh water swamp-seepage areas: M4916, M4949, S23454. These collections are from the lowland parts of the Park in Zone 6 of Porsild and Cody (1968), but the species should be looked for in Zone 1 because Cody (1978) has reported it from salt seepage areas in the Keele River drainage to the north. (P)

Ranunculus eschscholtzii Schlecht. — Subalpine and alpine uplands and meadows, S23530, T5089-4, T6177-24. The collection cited by Scotter and Cody (1974) was from the headwaters of the Flat River, west of the Park. Raup (1947) also reported the species from the Brintnell Lake area. (P)

Ranunculus flammula L. var. *ovalis* (Bigel.) Benson — Shore of oxbow lake, W23-74. (P)

Ranunculus gmelinii DC. — Ponds and fens, S23465, T6266-10, T6233-X-3, T6230-11. (P)

Ranunculus hyperboreus Rottb. — Subalpine *Carex aquatilis*-*Paludella squarrosa*-*Scorpidium scorpioides* fen community, T6175-X. (P)

Ranunculus lapponicus L. — Bogs and deciduous scrub steppes, T5011-19, S24194. (P)

Ranunculus pedatifidus Smith var. *leiocarpus* (Trautv.) Fern. — Alpine *Salix*-*Carex*-*Polytrichum* community, T6162-X-2. (P)

Ranunculus purshii Richards. — In lakeside pools and in ephemeral pools on floodplains, S23381, M6249, C1235, C1234, S23645, M5038, M5336. (P, M)

Ranunculus pygmaeus Wahlenb. — Alpine meadows, T5089-15, T6145-X, T6168-1. (P)

FUMARIACEAE

Corydalis aurea Willd. — Slumping slopes in Deadman Valley, K90. The only other collection from the Park came from the lowlands near the hot springs at 61°15'N, 124°03'W (Scotter and Cody, 1974). (M)

CRUCIFERAE

Arabis divaricarpa A. Nels. — Cabin clearings, M5977, M6233, T5092-1. (P, M)

Arabis holboellii Hornem. var. *retrofracta* (Grah.) Rydb. — Sedge grass meadow, M5546. (P, M)

Cardamine bellidifolia L. — Alpine meadows and rocky crevices, S24210, T5099-7, T5089-5, S24272. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River west of the Park. (P)

Cardamine pratensis L. — Wet situations, Marsh s.n., T6187-X-3. (P)

Cardamine umbellata Greene — Open shrub savanna dominated by *Salix* and *Drepanocladus*, T5001-1. The collection cited by Scotter and Cody (1974) was from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Descurainaea richardsonii (Sweet) O. E. Schulz — Area surrounding Wild Mint Springs, S24162. The only other collection from Nahanni National Park came from the lowlands at 61°15'N, 124°03'W. (M)

Descurainaea sopheroides (Fisch.) O. E. Schulz — Unstable slopes and river bars: C1204, C1205, S23363, T6209-X-1. (P, M)

Draba borealis DC. — Alpine tundra, T5073-30. (P)

Draba glabella Pursh — Subalpine *Betula glandulosa-Cassiope tetragona-Hylocomium splendens* community, T6016-X. (P)

Draba longipes Raup — Alpine tundra, T5073-3, T6159-7. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from "Grizzly Bear" Lake and the headwaters of the Flat River, north and west of the Park. (P)

Draba macounii O. E. Schulz — Rocky sites in alpine region, S23547B, T6147-20. (P)

Draba porsildii G. A. Mulligan — Alpine uplands, S23537, S23543, S23571A. This recently described species is known in Nahanni National Park from only one other site.

Draba stenoloba Ledeb. — Alpine *Salix arctica-Carex-Artemisia arctica* community, T6157-32. (P)

Erysimum cheiranthoides L. — Cabin clearing, Nahanni Hot Springs in Deadman Valley, M5979. The only other collection of this species from Nahanni National Park was from the lowland area at 61°15'N, 124°03'W (Scotter and Cody, 1974).

Erysimum inconspicuum (S. Wats.) MacM. — Open southfacing slope, S24198. (P)

Smelowskia borealis (Greene) Drury & Rollins — Alpine, T6202-X, T6204-X-4. (P)

Smelowskia calycina C. A. Meyer var. *media* Drury & Rollins — Alpine, Tlogotsho Plateau, S22770. Porsild (1943) reported this species as new to the Continental Northwest Territories on the basis of specimens collected in the Richardson Mountains. The report by Porsild and Cody (1968) for their Zone 1 was based on a collection from the Redstone River region, 63°35'N, 127°00'W, Kvale & Haggard 145 (DAO). (P)

DROSERACEAE

Drosera anglica Huds. — Peat bogs near Yohin Lake, S23424, S23464, T5019-A1, T5020-A-7. (P)

Drosera linearis Goldie — Montane *Carex chorodorrhiza-Scorpidium scorpioides-Drepanocladus revolvens* community, 61°41'N, 125°54'W, T6225-3. Other District of Mackenzie collections: peat plateau, Willow Lake on Horn Plateau, 62°10'N, 119°08'W, Walker 2425A (DAO); calcareous muck, ca 1 mi NE of Mile 82, Mackenzie Highway, T2255A (DAO); in shallow water rooted in marl at edge of marly lake, Mile 50 Enterprise — Mackenzie River Highway, Thieret & Reich 5393A (DAO). The nearest known collection to the south is from the south shore of Lake Athabaska east of William River, 59°01'N, 109°00'W, Argus 459-62 (DAO). (P, M, L, N)

SAXIFRAGACEAE

Chrysosplenium tetrandrum (Lund) Th. Fries — Rare near spring, S24263. (P)

Leptarrhena pyrolifolia (D. Don) R. Br. — Alpine *Festuca altaica-Drepanocladus uncinatus-Hylocomium splendens* community, T6172-X Elsewhere in the Continental Northwest Territories, this species is known only from Cirque Lake, north of the Canol Road adjacent to the Yukon border (Cody, 1978). (P)

Parnassia montanensis Fern. & Weath. — Alluvial fan, K821, M6416. (P, M)

Saxifraga davurica Willd. ssp. *grandipetala* (Engler & Irmsch.) Hultén — Alpine tundra, T5073-17, T6147-X. (P)

Saxifraga flagellaris Willd. ssp. *flagellaris* — Rare in the alpine zone in a thick cover of bryophytes, S24211. (P)

Saxifraga lyallii Engler — Alpine meadows and tundra, T5073-1, T5089-6, T6157-41. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were collected at the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Saxifraga punctata L. ssp. *porsildiana* Calder & Savile — Alpine and subalpine communities, T5099-9, T6066-X, T6184-X, T6159-8, T6168-2, T5001-A and several other collections. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Saxifraga radiata Small — Alpine tundra, T5073-16, T6157-18, T6159-15. (P)

Saxifraga rivularis L. — Alpine and subalpine communities, T6011-3, S24245, T5089-8, T6168-4. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

ROSACEAE

Amelanchier alnifolia Nutt. — Floodplains and deciduous dwarf shrub steppe, S23335, T5046-7.

Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the lowland part of the Park and Nahanni Butte.

Dryas hookeriana Juz. — Alpine and subalpine communities, T6002-11, T6042-39, T6016-5, T5073-18. (P)

Dryas integrifolia M. Vahl var. *canescens* Simm. — Floodplain, S23364, K298. (P, M)

Dryas punctata Juz. — Alpine and subalpine communities, T5023-1, T6247-3, S23479, T6064-19. (P, M)

Geum rossii (R. Br.) Ser. — Alpine *Salix polaris*-*Carex podocarpa*-*Thamnolia subuliformis* community, T6144-2. (P)

Potentilla anserina L. — Dry sedge-grass meadow, M5970. (P, M)

Potentilla multifida L. — Dry south-facing herb-shrub slope, M5971. (P, M)

Prunus pennsylvanica L.f. — Open slopes west of the alluvial fan of Prairie Creek, K315, S23334. (P)

Prunus virginiana L. — Open slopes west of the alluvial fan of Prairie Creek, K318. (M)

Rosa woodsii Lindl. — Deciduous dwarf scrub steppes and floodplains, T5046-2, C1258. The specimen cited by Scotter and Cody (1974) was from Nahanni Butte, overlooking the junction of the South Nahanni and Liard rivers. (P)

Rubus pubescens Raf. — Alluvial fans and *Pinus contorta* savanna, M5002-7, K294, M6094, T6084-18. The only other collection thus far reported from the Park, was from the lowland area at 61°15'N, 124°03'W [Scotter and Cody (1974)].

Sibbaldia procumbens L. — Alpine plateau, T5099-10, S24203. The specimens cited by Scotter and Cody (1974), were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

LEGUMINOSAE

Astragalus aboriginum Richards. — Deciduous scrub steppe, T5011-6. (P)

Astragalus agrestis Dougl. [*A. goniatus* Nutt.] — Deciduous scrub steppe, T5012-X-1. (P)

Astragalus striatus Nutt. — Dry, south-facing herb-scrub slopes, riverbanks, and floodplain, S23403, M6108, M6172, M6179, C1176, C1177, T6033-7. (P, M)

Lathyrus ochroleucus Hook. — Alluvial fan, M6132. The only specimen of this species thus far reported from Nahanni National Park was from the lowland region at 61°15'N, 124°03'W. (M)

Medicago sativa L. — Cabin clearing at hot spring site, M4991, S22744, T5092-2. Introduced. (P)

Oxytropis deflexa (Pallas) DC. var. *sericea* T. & G. — Open deciduous and coniferous forests, T5078-2, T5033-A, T5002-2. (P, M)

Oxytropis nigrescens (Pall.) Fisch. ssp. *bryophylla* (Greene) Hultén — Alpine *Oxytropis nigrescens*-*Tortula ruralis*-*Saxifraga oppositifolia* community, T6145-1. The occurrence of this subspecies in the Richardson and Mackenzie mountains has been discussed recently by Cody (1978). (P)

Oxytropis splendens Dougl. — *Carex*-grass meadow on fan, K758. (P, M)

VIOLACEAE

Viola epipsila Ledeb. ssp. *repens* (Turcz.) Becker — Communities near Hole-in-the-Wall Lake, S24236a, T6171-21. The collection cited by Scotter and Cody (1974) was from outside the Park boundary, south of the localities cited above. (P)

Viola pallens (Banks) Brainerd — Rare near hot-springs S24236b. (P, M)

Villa renifolia Gray var. *Brainerdii* (Greene) Fern. — Closed mixed forest to open scrub savanna, M6054-4, T6084-20, T5083-A, T6011-15. (P)

Viola rugulosa Greene — Aspen forest on N-facing slopes, M5981. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from the lowlands at 61°15'N, 124°03'W. (M)

ONAGRACEAE

Circaea alpina L. — subalpine communities near Hole-in-the-Wall Lake, S24232, T6184-X. The specimen cited by Scotter and Cody (1974) was from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Epilobium anagallidifolium Lam. — Alpine and subalpine communities near Hole-in-the-Wall Lake, T5089-9, T5001-1, T6175-3, T6172-12. (P)

HALORAGACEAE

Myriophyllum verticillatum L. — Shallow water of hot spring pool growing with *M. exalbescens*, S12731B, [Scotter and Cody (1974) *pro parte*]. (P, M)

UMBELLIFERAE

Cicuta maculata L. var. *angustifolia* Hook. — Common near margins of several pools at Wild Mint Springs, S24168, S24169. (P, M)

CORNACEAE

Cornus canadensis L. — Open deciduous scrub on Prairie Creek fan, K375, T5023-A. Specimens cited by Scotter and Cody (1974), were from the headwaters of the Flat River west of the Park, and from the lowland region at 61°15'N, 124°03'W.

PYROLACEAE

Pyrola grandiflora Radius — Represented by numerous collections from 123°37'W, to

127°27'W from coniferous forests in the river valleys to alpine tundra communities. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the lowlands at 61°15'N, 124°03'W, and from north and west of the Park boundary.

ERICACEAE

Arctostaphylos alpina (L.) Spreng. — Open slopes above Yohin Lake, T5023-2, S23484, T6099-2. (P)

Chamaedaphne calyculata (L.) Moench. — Dwarf scrub fens, T5022-1, T5063-1, T6073-X. (P)

Phyllodoce empetriformis (Sm.) D. Don — Alpine and subalpine, T6097-X, T5024-A2, S24199, T6071B. (P)

PRIMULACEAE

Dodecatheon frigidum Cham. & Schlecht. — Alpine *Cassiope tetragona*-*Dryas integrifolia*-*Cetraria ericetorum* community, T6110-X. (P)

GENTIANACEAE

Gentiana prostrata Haenke — Subalpine *Picea glauca*-*Betula glandulosa*-*Salix* community, T6113-X. The collections cited by Scotter and Cody (1974) were from "Grizzly Bear" Lake, northwest of the Park. (P)

BORAGINACEAE

Myosotis alpestris Schm. ssp. *asiatica* Vesterg. — Alpine tundra, T5073-2, T5089-12. (P)

LABIATAE

Dracocephalum parviflorum Nutt. — River and sand bar, M4898. (P)

Scutellaria galericulata L. var. *pubescens* Benth. — Shore of Yohin Lake, S23449. (P)

SCROPHULARIACEAE

Pedicularis capitata Adams — Alpine tundra communities, T6015-X, T6041-31, T5073-4, T5089-10, T6149-8. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Veronica scutellata L. — In water in ponded snye of floodplain, M6248. (P, M)

Veronica wormskjoldii Roem. & Schult. ssp. *wormskjoldii* [V. *alpina* L. var. *unalaschcensis* Cham. & Schlecht] — Alpine and subalpine communities, T6011-4, S24240, T6069-X, T5089-11, T5001-1, T6171-3. Specimens cited by Scotter and Cody (1974), were from the headwaters of the Flat River and "Grizzly Bear" Lake, west and north of the Park. (P)

LENTIBULARIACEAE

Pinguicula villosa L. — On *Sphagnum* hummocks, T5055-3, S24186. (P)

Utricularia intermedia Hayne — Ponds, S23398A, T5068-7, T5077-2, T6234-4. (P)

CAPRIFOLIACEAE

Symphoricarpos occidentalis Hook. — Open slopes west of alluvial fan of Prairie Creek, S23383. The specimen cited by Scotter and Cody (1974), was from Nahanni Butte, outside the Park. (P)

VALERIANACEAE

Valeriana sitchensis Bong. — Alpine meadow, T5089-12. The specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

CAMPANULACEAE

Campanula lasiocarpa Cham. — Alpine communities, T5099-11, T6246-4, T5024-A-2, T6097-2, S23470A, T6190-19, S24266. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Campanula rotundifolia L. — Yohin Ridge, S23471. The specimen cited by Scotter and Cody (1974), was from Nahanni Butte. (P)

Campanula uniflora L. — Alpine tundra, T5024-10, S23593, T6040-17, T6115-14. (P)

COMPOSITAE

Achillea lanulosa Nutt. — Alluvial river terraces and fans, K816, M6151-1, C1297, T5040-A. (P)

Antennaria campestris Rydb. — Prairie Creek fan, K272. (P, M)

Antennaria isolepis Greene — Subalpine scrub and alpine communities, T5028-18, T5024-A, S12814, K101, S24273, S24262. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were found at the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Antennaria rosea (Eat.) Greene — Montane, T6046-X, S23417. The specimen cited by Scotter and Cody (1974) was from Nahanni Butte, outside the Park. (P)

Arnica alpina (L.) Olin ssp. *tomentosa* (J. M. Macoun) Maguire — Meadows and scrub steppes, K802, T5012-1. (P)

Arnica latifolia Bong. — Alpine *Cladina alpestris* — *Cassiope tetragona*-*Festuca altaica* community, T6174-X. Specimens cited by Scotter and Cody (1974), were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Arnica lessingii Greene — Alpine and open scrub savanna communities, T5099-12, T5073-5, S24239, S24261, T5001-A-10. Specimens cited by Scotter and Cody (1974), were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)

Arnica lonchophylla Greene — Alluvial fans and terraces, T5008-1, M6054-1, M6300, T5048-5, T6036-37 and several other collections. (P, M)

- Artemisia canadensis* Michx. — Alluvial terraces and fans, T5011-5, S23409, S23480, M6323. (P, M)
- Artemisia hyperborea* Rydb. — Alpine *Eriophorum vaginatum*-*Dicranum angustum*-*Betula glandulosa* community, T6255-X-1. This collection represents a considerable extension of the known range from the Arctic Coast southward to the unglaciated Tlogotsho Plateau. (P, M)
- Aster junciformis* Rydb. — Lowland terraces and fens to montane *Menyanthes trifoliata*-*Drepanocladus revolvens*-*Scorpidium scorpioides* communities, T5018-4, C1288, T6253-7, T6244-8, T6032-12. (P, M)
- Crepis nana* Richards. — Alpine tundra, T5073-21, T6145-6.
- Erigeron compositus* Pursh — Prairie Creek fan and limestone walls of Dry Canyon, K231, S23508. (P)
- Erigeron humilis* Grah. [*E. unalaschkensis* (DC.) Vierh.] — Alpine uplands and meadows S23607, T6112-X, T5073-19, 6162X-2. (P, M)
- Erigeron philadelphicus* L. — Cabin clearing, Nahanni Hotsprings, M5975, M6263. (P)
- Hieracium gracile* Hook. — Subalpine *Heracleum lanatum*-*Geranium* sp.-*Brachythecium* sp. community, T6186-X. The specimen cited by Scotter and Cody (1974) was collected at the headwaters of the Flat River. Second record for the District of Mackenzie. (P)
- Hieracium triste* Willd. — Subalpine scrub community, T5028-1. Specimens cited by Scotter and Cody (1974), were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)
- Petasites frigidus* (L.) Fries — Alpine and sub-alpine communities, S24207, T5099-13, T6195-6, T6176-3, T5089-13, T6171-5. Specimens cited by Scotter and Cody (1974) were from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)
- Petasites hyperboreus* Rydb. — Alpine tundra and savannas, T5048-1, T5073-20. (P)
- Petasites palmatus* (Ait.) Gray — Open mixed forests on alluvial fans and terraces to sub-alpine communities, M6175-1, S23410, M6038-1, T6081-7, M6155-1, M6536, T6088-29, T6090-28. (P)
- Senecio indecorus* Greene — Alluvial fans and terraces in open vegetation communities, K117, T5040-A2, M5217, Marsh s.n. (P)
- Taraxacum dumetorum* Greene — Recent burn, M6161. The specimen cited by Scotter and Cody (1974), was from the headwaters of the Flat River, west of the Park. (P)
- Taraxacum lacerum* Greene — Floodplains and disturbed situations, C1268, S23621, T6162-X-1. (P)

References

- CODY, W. J., 1956. New plant records for northern Alberta and southern Mackenzie District. — Can. Fld Nat., 70: 101-130.
- CODY, W. J., 1963. A contribution to the knowledge of the flora of southwestern Mackenzie District, N.W.T. — Can. Fld Nat., 77: 108-123.
- CODY, W. J., 1975. *Scheuchzeria palustris* L. (Scheuchzeriaceae) in Northwestern North America. — Can. Fld Nat., 89: 69-71.
- CODY, W. J., 1978. Range extensions and comments on the vascular flora of the Continental Northwest Territories. — Can. Fld Nat., 92: 144-150.
- CODY, W. J. and A. E. PORSLID, 1968. Additions to the flora of Continental Northwest Territories, Canada. — Can. Fld Nat., 82: 263-275.
- JEFFREY, W. W., 1961. Notes on plant occurrence along lower Liard River, N.W.T. — Bull. natn. Mus. Can., 171: 32-115.
- PORSILD, A. E., 1943. Materials for a flora of the Continental Northwest Territories. — Sargentina, 4: 1-79.
- PORSILD, A. E., 1951. Botany of southeastern Yukon adjacent to the Canol Road. — Bull. natn. Mus. Can., 121: 1-400.
- PORSILD, A. E., 1961. The vascular flora of an alpine valley in the Mackenzie Mountains, N.W.T. — Bull. natn. Mus. Can., 171: 116-130.
- PORSILD, A. E. and W. J. CODY, 1968. Checklist of the vascular plants of Continental Northwest Territories. — Pl. Res. Inst., Canada Agric., Ottawa, 102 p.
- PORSILD, A. E. and W. J. CODY, in press. Vascular plants of the Continental Northwest Territories. — Natn. Mus. Canada Publs Bot.
- PORSILD, A. E. and H. A. CRUM, 1961. The vascular flora of Liard Hotsprings, B.C., with notes on some bryophytes. — Bull. natn. Mus. Can., 171: 131-197.
- RAUP, H. M., 1936. Phytogeographic studies in the Athabaska — Great Slave Lake region. I. Catalogue of the vascular plants. — J. Arnold Arbor., 17: 180-315.
- RAUP, H. M., 1947. The botany of southwestern Mackenzie. — Sargentina, 6: 1-275.
- SCOTTER, G. W. and W. J. CODY, 1974. Vascular plants of Nahanni National Park and vicinity, Northwest Territories. — Naturaliste can., 101: 861-891.
- STEERE, W. C. and G. W. SCOTTER, 1978. Additional bryophytes from Nahanni National Park and vicinity, Northwest Territories, Canada. — Can. J. Bot., 56(3): 234-244.
- STEERE, W. C., G. W. SCOTTER and K. HOLMEN, 1977. Bryophytes of Nahanni National Park and vicinity, Northwest Territories, Canada. — Can. J. Bot., 55(13): 1741-1767.
- THIERET, J. W., 1963. Botanical Survey along the Yellowknife Highway, Northwest Territories, Canada. I. Catalogue of the flora. — Sida, 1: 117-170.

LISTE ANNOTÉE DE NOMBRES CHROMOSOMIQUES DE LA FLORE VASCULAIRE DU NORD-EST DE L'AMÉRIQUE¹

Camille GERVAIS

Service de recherche en défense des cultures,
Ministère de l'agriculture du Québec, Complexe scientifique, Québec, G1P 3W8

Résumé

Les nombres chromosomiques de 34 individus, appartenant à 20 taxons nord-américains, ont été déterminés et sont rapportés avec les renseignements suivants: lieu, date, auteur des récoltes et herbier où elles sont conservées, dessins des chromosomes, relevé des comptages réalisés sur ces espèces dans le nord-est de l'Amérique, commentaires taxonomiques et cytologiques s'il y a lieu, notes techniques si utile. Les comptages les plus intéressants concernent l'endémique *Arnica Louiseana* Farr. subsp. *Griscomi* (Fern.) Maguire, les hybrides *Streptopus* X *oreopolus* Fern. et *Centaurea* X *pratensis* Thuill., des individus atypiques de *Chenopodium album* L. et différentes espèces introduites: *Galega officinalis* L., *Malva verticillata* L., *Epilobium hirsutum* L., ce dernier étant apparemment aneuploïde avec $2n = 38$ chromosomes.

Abstract

The chromosome numbers of 34 individuals, belonging to 20 north-eastern american taxa, have been counted and are reported with the following informations: source of material, date, collector, localization of voucher specimens, drawing of the chromosomes, survey of previous chromosomes counts for these species in north-eastern America, taxonomical and cytological comments if necessary, technical notes when useful. The most interesting counts concern the endemic *Arnica Louiseana* Farr. subsp. *Griscomi* (Fern.) Maguire, the hybrids *Streptopus* X *oreopolus* Fern. and *Centaurea* X *pratensis* Thuill., atypical *Chenopodium album* L. individuals and various introduced species: *Galega officinalis* L., *Malva verticillata* L., *Epilobium hirsutum* L., the latter being apparently aneuploid with $2n = 38$ chromosomes.

Introduction

Apparue vers les débuts du siècle, peu après la découverte des chromosomes et de leur rôle, l'utilisation des données chromosomiques en botanique connaît de nos jours un essor considérable (Moore, 1978). Rien d'étonnant: la connaissance des nombres chromosomiques des plantes s'avère un outil important d'identification et de classification tout en ouvrant de larges avenues à l'étude des problèmes d'évolution, de spéciation, de migration et d'écologie des végétaux.

Pour toutes ces raisons, la préparation de listes de nombres chromosomiques reste une tâche nécessaire, mais doit fournir, pour

rester valable, une information de qualité: se rapporter à du matériel dont le lieu de récolte est précisément connu et dont on aura conservé des témoins, s'appuyer si possible, à défaut de caryogrammes complets, sur des figures convenables indiquant les dimensions et la morphologie générale des chromosomes, surtout si le comptage est inédit.

La liste présentée ici est faite dans cette optique et se veut un outil de travail commode: elle comprend le nom des espèces étudiées (par ordre alphabétique) et leur provenance, le nom des collectionneurs, les numéros de récolte et le sigle des herbiers où les témoins sont conservés. Les nombres

¹ Contribution n° 251 de la Direction générale de la recherche et de l'enseignement, Agriculture Québec.

chromosomiques sont accompagnés de figures sauf si un autre dessin (auquel il est alors fait référence) a déjà été présenté pour ce taxon dans une de nos publications antérieures. Enfin, des commentaires se rapportant à la cytologie, la cytogénétique et la géographie accompagnent chaque taxon, lorsque nécessaire, surtout si les résultats obtenus sont nouveaux ou diffèrent des comptages réalisés par d'autres chercheurs. Le cadre géographique habituel du travail est la province de Québec, mais comme les aires de répartition des espèces ne coïncident généralement pas avec les limites juridiques des États, il est utile d'élargir la dition à l'est de l'Amérique au cas où certains problèmes demanderaient, pour être résolus, l'examen cytologique de matériel plus abondant. Notons qu'une même espèce pourra faire l'objet de nouveaux comptages, sur des individus de provenance différente, et réapparaître dans une liste ultérieure. Ces comptages pourraient permettre, à la longue, d'établir des cartes et de déceler s'il existe dans notre flore des variations cytologiques (des gradients de polyploïdie, par exemple) rattachables à la distribution géographique des taxons ou à d'autres facteurs.

Méthodes

Le premier point de la méthode d'examen cytologique se rapporte au pré-traitement destiné à raccourcir les chromosomes. Comme le pré-traitement varie selon les genres ou les espèces étudiées, il en sera fait mention sous les espèces concernées. Les autres points de la méthode concernent la fixation, la coloration, l'écrasement des cellules et le dessin des chromosomes: le fixateur utilisé est un mélange 1:3 d'acide acétique glacial et d'alcool absolu auquel on peut ajouter quelques gouttes de carmin acétique jusqu'à l'obtention d'une coloration rose pâle. Les fixations sont gardées au congélateur. Au moment de l'examen, les jeunes racines ou les boutons floraux sont placés pour une heure (ou plus) dans un peu de carmin acétique et les méristèmes ou les étamines sont prélevés pour être écrasés entre lame et lamelle dans une goutte de carmin. La lamelle est lutée avec un mélange de paraffine et de baume du Canada. Dans de rares occasions, la méthode classique avec emparaffinage et coupes transversales a été utilisée, les fixations étant faites alors au Navashin (sans pré-traitement) et les coupes colorées au violet cristal. Les dessins sont faits à la chambre claire Wild.

Résultats

1) *ARNICA LOUISEANA* Farr. subsp. *GRISCOMI* (Fern.) Maguire

$2n = 76$ (fig. 1)

Pré-traitement: froid 4°C, 7 h

Comté de Matane: Mont-Logan, grande arête nord (Razorback Ridge), alt. c. 900 m, 24/08/78, *Gervais et Grandtner 78-225* (QUE).

Cette plante fait partie d'un complexe que Maguire (1943) subdivise en trois entités différentes. La plus répandue, *A. Louiseana* subsp. *frigida* (Meyer ex Iljin) Maguire occupe l'Alaska et l'extrémité N.-E. de la Russie, *A. Louiseana* s.str. se rencontre dans les Rocheuses canadiennes et le subsp. *Griscomi*, caractérisé par des bractées involucreales peu glanduleuses et un periclinium peu pubescent, est un endémique connu uniquement de quelques rares stations de la Gaspésie et de Terre-Neuve.

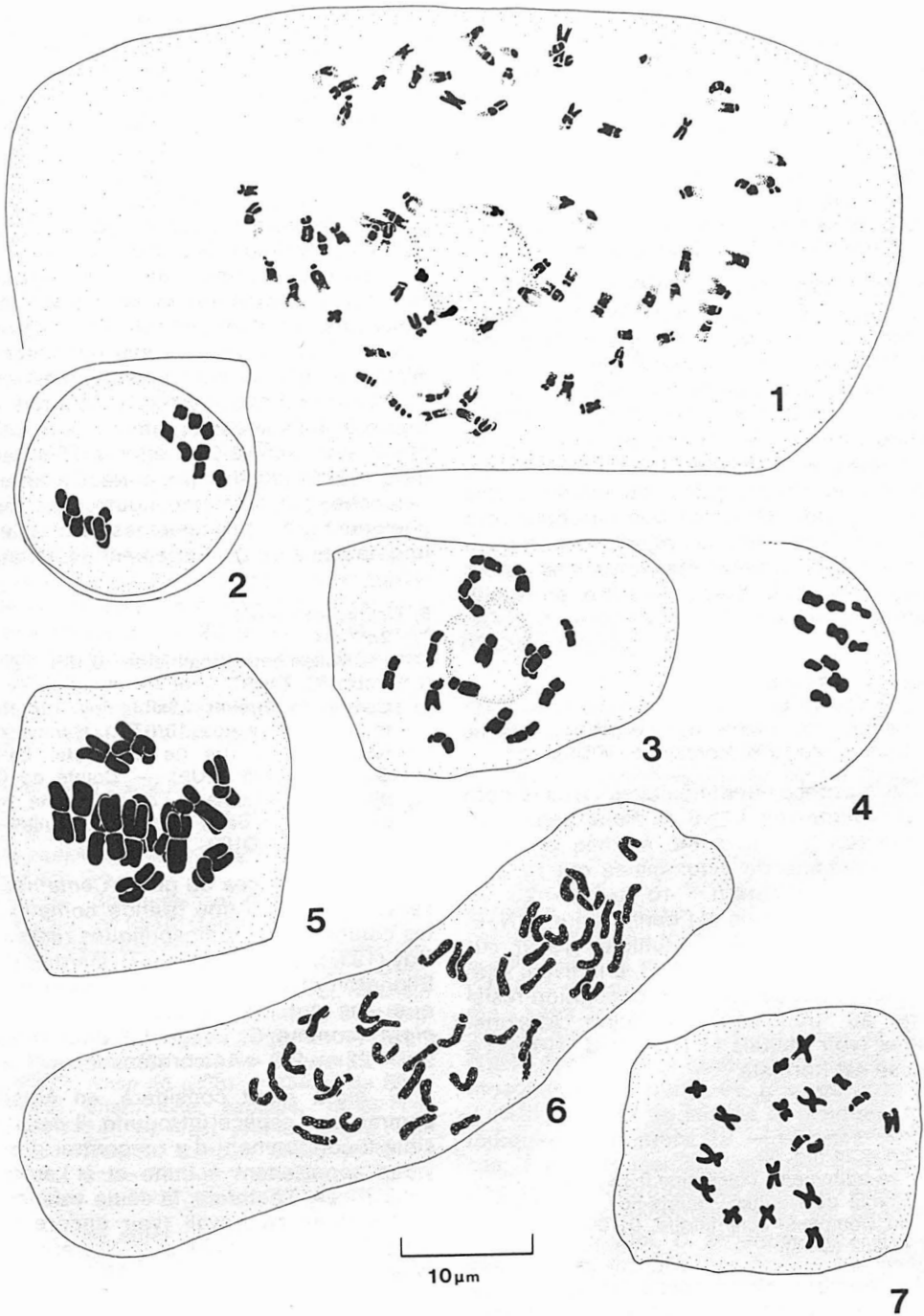
L'étude cytologique de ce taxon, considéré par Fernald (1925) comme l'une des plantes cordillériennes relictuelles ayant survécu sur place aux dernières glaciations, présentait beaucoup d'intérêt. Son nombre chromosomique toutefois ($2n = 76$) est identique à celui d'*A. Louiseana* s. str., compté au Yukon (Kluane Lake) par Löve et Löve (1975) et le taxon gaspésien ne semble pas plus ancien que son homologue des Montagnes Rocheuses. Le résultat d'Ornduff *et al.* (1967), $2n = c.67$, obtenu avec du matériel d'Alberta est probablement à mettre au même compte, ainsi que celui de Johnson et Packer (1968), $2n = c. 76$, pour le subsp. *frigida*, dans le N.-O. de l'Alaska (Ogotoruk Creek). Des nombres chromosomiques moins élevés ($2n = 58,60$) sont rapportés pour le subsp. *frigida*, en Russie, par Zhukova et Petrovski (1971), Zhukova (1967, etc.) bien que $2n = c.70$ soit aussi indiqué par Zhukova et Tikhonova (1971); il faut peut-être chercher du côté de ces sippes moins fortement polyploïdes (si les nombres $2n = 58,60$ se confirment) les ancêtres des plantes américaines.

2) *BARBAREA VULGARIS* R.Br.

$n = 8$ (fig. 2)

Comté de Québec: Sainte-Foy, rue Rougemont, terrain vague, 16/05/71, *Gervais 71-030* (QUE).

Cette espèce, introduite d'Europe, est représentée le plus souvent au Québec par le var. *arcuata* (Opiz) Fries reconnaissable à ses siliques plus ou moins divariquées et courbées. Les témoins ayant été recueillis très jeunes, il est impossible de les identifier autrement que sous le nom de *B. vulgaris*



Figures 1-7. Fig. 1. *Arnica Louiseana* Farr. subsp. *Griscomi* (Fern.) Maguire, fin de prophase, $2n = 76$, méristème racinaire. Fig. 2. *Barbarea vulgaris* R. Br., fin d'anaphase I, $n = 8$, CMP. Fig. 3. *Berteroa incana* (L.) DC., fin de prophase, $2n = 16$, méristème racinaire. Fig. 4. *Brassica Rapa* L., métaphase II, $n = 10$, CMP. Fig. 5. *Bromus ciliatus* L., métaphase (avec appariement somatique), $2n = 14$, méristème racinaire. Fig. 6. *Centaurea nigra* L. f. *pallens* Spenn, jeune métaphase, $2n = 44$, méristème racinaire. Fig. 7. *Chenopodium capitatum* (L.) Aschers., métaphase, $2n = 18$, méristème racinaire.

s.l. Le nombre chromosomique trouvé, $n = 8$, correspond aux comptages effectués en Europe sur cette espèce et à une détermination faite par Mulligan (1959) sur du matériel récolté à Ottawa.

3) *BERTEROA INCANA* (L.) DC.

$2n = 16$ (fig. 3)

Comté de Charlevoix: Cap-à-l'Aigle, bord d'un chemin, 31/08/72, *J. Cayouette 1720* (QUE).

Le nombre chromosomique de cette espèce, $2n = 16$, a été compté déjà à quelques reprises sur du matériel européen. Dans l'est de l'Amérique, où l'espèce est introduite, une seule détermination chromosomique est rapportée (Mulligan, 1957: Fitzroy Harbour, près d'Ottawa). Au moins deux paires de chromosomes possèdent des constriction secondaires et une paire, au moins, a des satellites. Les extrémités des chromosomes sont parfois diffuses ou encore, en prophase avancée, les chromosomes entiers semblent fractionnés d'un bout à l'autre en petits segments.

4) *BRASSICA RAPA* L.

$n = 10$ (fig. 4)

Comté de Richmond: Brompton, ferme Homan, été 1976, *Moreau s.n.* (QUE).

Cette espèce, identifiée aussi sous le nom de *B. campestris* L. ou *B. Rapa* ssp. *campestris* (L.) Claph., a été étudiée par plus d'une trentaine de cytologistes qui rapportent tous le nombre $n = 10$ ou $2n = 20$. Un seul comptage nous est connu pour le N.-E. de l'Amérique, celui de Mulligan (1959), sur du matériel de Bathurst, N.B. L'individu examiné ici faisait partie d'une population résistante au traitement herbicide Atrazine-Bladex (voir Maltais et Bouchard, 1978). La méiose est normale.

5) *BROMUS CILIATUS* L.

$2n = 14$ (fig. 5)

Pré-traitement: colchicine 0,3%, 3 h

Comté de Québec: Sainte-Foy, champs près du Complexe scientifique, 01/09/71, *Gervais 71-282* (QUE).

Le nombre chromosomique $2n = 14$, trouvé ici, s'accorde avec les comptages déjà faits dans le N.-E. de l'Amérique par Bowden en 1960 (Ont., Carleton Co.) et par Wagnon (1952) sur plusieurs individus provenant du Jardin botanique de Montréal, de la Gaspésie, de la région d'Ottawa et du N.-E. des États-Unis (Maine, Vermont, Massachusetts, Rhode-Island, New-York).

D'autres auteurs (Elliott, 1948, 1949; Barnett, 1955) font encore état d'une race de *B. ciliatus* à $2n = 28$ chromosomes se rencontrant dans l'ouest des États-Unis et du Canada jusqu'en Alaska, mais Wagnon (1952), Mitchell et Wilton (1965), Mitchell (1967) sont d'avis que ce taxon tétraploïde est une espèce distincte, *B. Richardsonii* Link. Cette dernière espèce se serait formée par allopolyploïdie à partir de *B. ciliatus* et d'un parent inconnu, comme semble le démontrer l'examen de la méiose de *B. Richardsonii* et d'un hybride *Richardsonii* X *ciliatus*, à $2n = 21$, observé par Mitchell et Wilton (1965). Aucun satellite n'est visible sur les chromosomes très raccourcis de la figure 5, mais le caryogramme de *B. ciliatus*, établi par Schulz-Schaeffer (1956), en indique sur la plus longue paire. On notera en revanche, sur la même figure, des rapprochements de chromosomes probablement imputables à de l'appariement somatique.

6) *CENTAUREA NIGRA* L.

$2n = 44$

Pré-traitement: colchicine 0,15%, 2h, ou froid 4°C, 7 h

Comté de Québec: Sainte-Foy, rue Rougemont, terrain vague, 10/07/71, *Gervais 71-153* (QUE). *Idem*, rue de la Suète, 08/10/77, *Gervais 77-175* (QUE). — Comté de Champlain: Saint-Louis-de-France, route secondaire vers le Saint-Maurice, fin juillet 1973, *Gervais 73-8* (QUE).

La section *Jacea* du genre *Centaurea* présente en Europe une grande complexité et les comptages chromosomiques réalisés par Roy (1937), Guinochet (1957), Gardou (1972), Elkington et Middlefell (1972), pour ne citer que ces auteurs, nous indiquent que *C. nigra* (comme *C. Jacea* L.) peut posséder $2n = 22$ ou $2n = 44$ chromosomes.

C. nigra étant considéré, en Amérique, comme une espèce introduite, il serait possible théoriquement d'y rencontrer des individus appartenant à l'une et à l'autre des deux races. Toutefois, la seule valence rapportée dans ce travail (voir encore ci-dessous *C. nigra* f. *pallens* et *C. X pratensis*) est le nombre tétraploïde $2n = 44$.

7) *CENTAUREA NIGRA* f. *PALLENS* SPENN

$2n = 44$ (fig. 6)

Comté de Québec: Sainte-Foy, rue Rougemont, terrain vague, 15/07/73, *Gervais 73-5* (QUE).

Cette forme à fleurs blanches et à bractées brun pâle est peu fréquente et mérite

d'être signalée. La figure 6 laisse voir deux paires de chromosomes avec satellites, mais le plus souvent, une seule paire est facilement visible.

- 8) *CENTAUREA X PRATENSIS* THUILL. (*C. NIGRA* X *C. JACEA*)
 $2n = 44$
 Comté de Dorchester: entre Saint-Malachie et Frampton, pâturage abandonné, 22/09/78, *Bédard et Ruel s.n.* (QUE).

Les spécimens étudiés ici présentaient, dans la couleur et la découpeure des bractées, des formes intermédiaires entre *C. nigra* et *C. jacea*. Ces deux dernières espèces (souvent considérées d'ailleurs comme des sous-espèces) semblent croître ensemble dans la région et avoir donné naissance à un vaste complexe d'hybrides où il est difficile de retrouver les types parentaux à l'état pur. En Amérique, *C. X pratensis* a fait l'objet d'études cytologiques par Moore (1968) qui indique $2n = 44$ pour du matériel récolté en Ontario. Le même auteur rapportant également $2n = 22$ et $2n = 44$ pour *C. jacea* en Ontario, il serait peut-être possible de trouver un jour des *C. pratensis* à $2n = 33$, ce qui démontrerait clairement la nature hybride de ce taxon.

- 9) *CHENOPODIUM ALBUM* L.
 $2n = 54$ ou c.54 (fig. 4c in Bouchard *et al.*, 1978)
 Pré-traitement: colchicine, 0,15%, 1-2 h ou froid 4°C, 6 h
 Montréal: Stationnement devant le terminus Voyageur, 29/10/78, *Gervais 78-330* (QUE). — Comté de Châteauguay: île Saint-Bernard, grève, 18/09/77, *Gervais 77-153* (QUE). Sainte-Clothilde, jardin, 25/08/76, *Trudeau 801* (SFS). — Comté de Portneuf: Deschambault, 25/08/70, *Gagnon 21* (QUE). — Comté de Papineau: Parc de la Gatineau, boisé, 10/07/75, *Nolin F5* (SFS). — Comté de Sherbrooke: Sherbrooke, campus, 16/08/71, *Robert 142* (SFS). *Idem*, prairie derrière l'Université, 12/09/68, *Gadbois 68538* (SFS). — État du Maine (E.-U.): Wells Beach, sables maritimes, 12/08/77, *Gervais 77-104* (QUE).

Il existe, au sujet du nombre chromosomique de *C. album*, une certaine controverse du fait qu'on ignore s'il faut attribuer à la polyploïdie ou à des difficultés d'identification les comptages chromosomiques divergents ($2n = 18, 36, 54$) qui sont rapportés pour ce taxon dans la littérature cytologique. Cette question a déjà été étudiée plus en détails dans un travail précédent (Bouchard *et al.*, 1978) où, comme ici, le nombre chromosomique $2n = 54$ est rapporté pour des

plantes de Saint-Jérôme (Lac-Saint-Jean) et de Saint-Augustin (Portneuf).

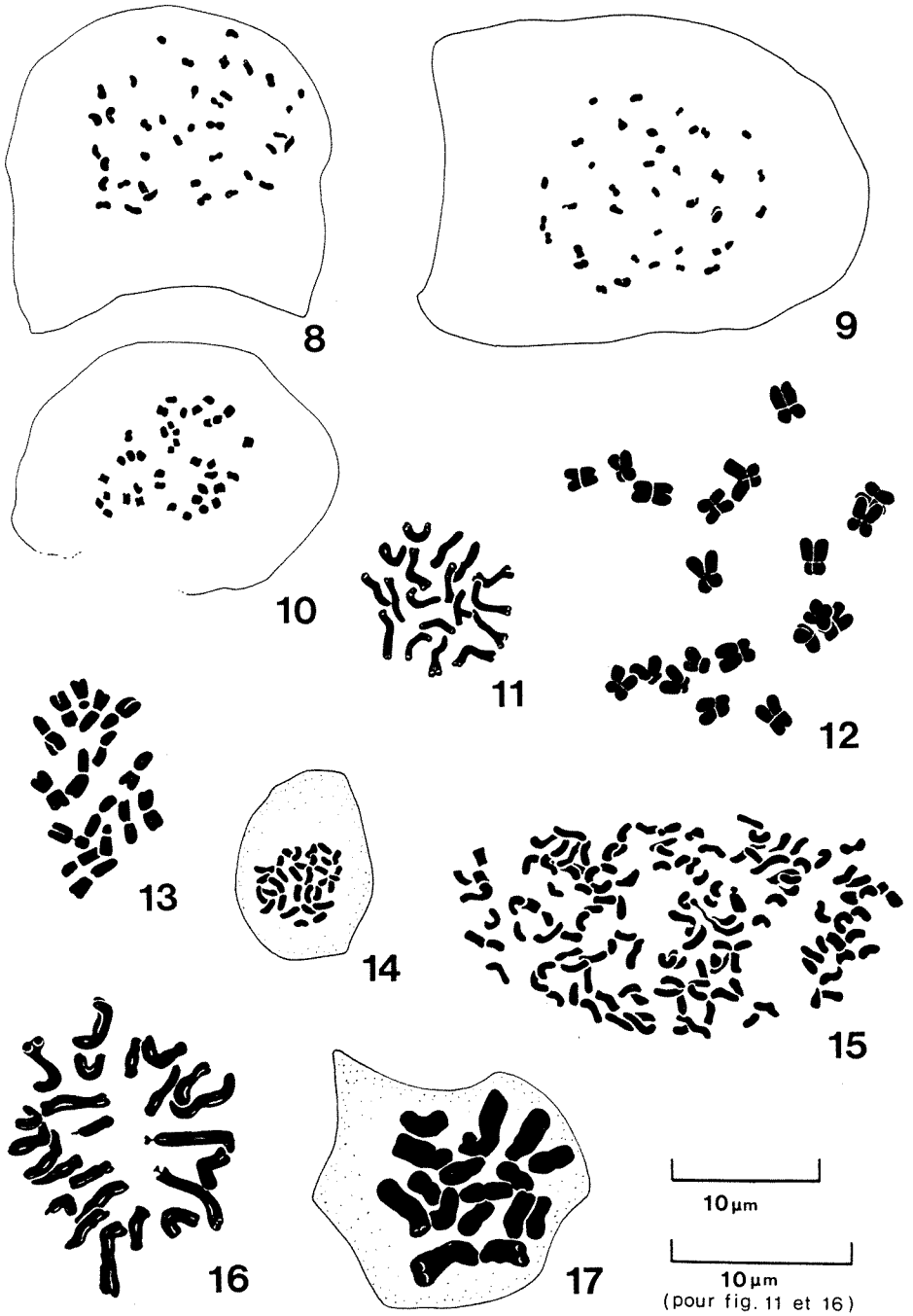
Deux autres comptages chromosomiques encore sont connus pour le nord-est de l'Amérique: le plus récent, par Cole (1962), indique $2n = 54$ pour une plante provenant d'Ottawa, mais un autre comptage, réalisé par Witte (1947) sur du matériel récolté dans l'État de New-York (Campus de Fordham) et identifié par H. A. Gleason, donne $2n = 36$! Cole (1962) est toutefois d'avis que les botanistes américains confondent souvent *C. album* avec *C. berlandieri* Moq. qui possède $2n = 36$ chromosomes. Il est possible aussi qu'il s'agisse de *C. strictum* (voir Gervais, 1979).

L'intérêt des comptages présentés ici vient de ce qu'ils ont été faits sur des plantes atypiques (fig. 18) à feuilles étroites lancéolées (*Gagnon 21, Nolin F5, Trudeau 801, Robert 142, Gadbois 68538*), sur une plante à feuilles intermédiaires entre *C. album* et *C. ficifolium* Sm. (*Gervais 78-330*) et sur un individu croissant sur des sables maritimes (*Gervais 77-104*).

- 10) *CHENOPODIUM CAPITATUM* (L.) Aschers.
 $2n = 18$ (fig. 7)
 Pré-traitement: froid 4°C, 7 h
 Comté de Rivière-du-Loup: île aux Basques, schistes du rivage, 08/07/76, *Smith et Bru-lotte 184* (QUE).

Un seul comptage, réalisé sur du matériel est-américain avec indication précise de provenance, est rapporté pour cette espèce: celui de Mulligan (1957) qui observe $2n = 18$ sur des plantes récoltées à Ottawa. Kjellmark (1934) avait déjà obtenu le même résultat, mais sans donner l'origine exacte des individus étudiés. D'autre part, Kawatani et Ohno (1962) font état de quatre comptages chromosomiques à partir de graines obtenues d'institutions et de jardins botaniques, mais indiquent le nombre $2n = 16$ dans chaque cas. Malheureusement, comme dans d'autres cas d'ailleurs où ces auteurs rapportent des nombres divergents chez les chénopodes (*C. ficifolium, C. strictum*, etc.), il n'y a pas d'étude critique des spécimens et leur identification reste douteuse.

- 11) *CHENOPODIUM FICIFOLIUM* SMITH
 $2n = 18$ (fig. 4a in Bouchard *et al.*, 1978)
 Pré-traitement: colchicine 0,15%, 1-2 h ou froid 0,4°C, 7 h
 Comté de Québec: Sainte-Foy, terrain vague devant l'Usine de traitement de l'eau, 29/10/77, *Gervais 77-178* (QUE). Québec, Limoilou,



Figures 8-17. Fig. 8 à 10. *Epilobium hirsutum* L., jeunes métaphases et métaphase, $2n = 38$, méristème racinaire. Fig. 11. *Erigeron hyssopifolius* Michx., métaphase, $2n = 18$, méristème racinaire (coupe colorée au violet cristal). Fig. 12. *Eupatorium maculatum* L., métaphase, $2n = 20$, méristème racinaire. Fig. 13. *Galega officinalis* L., métaphase, $2n = 16$, méristème racinaire. Fig. 14. *Lepidium densiflorum* Shrad., métaphase, $2n = 32$, jeune feuille. Fig. 15 *Malva verticillata* L., métaphase, $2n = c.126$, méristème racinaire. Fig. 16. *Streptopus X oreopolus* Fern., métaphase, $2n = 24$, méristème racinaire (coupe colorée au violet cristal). Fig. 17. *Streptopus roseus* Michx., métaphase, $2n = 16$, tissu staminal.

1ère avenue, 19/07/77, *Hardy s.n.* (QUE).
 Québec, terrain vague derrière l'Aréna du
 Parc Victoria, 19/07/77, *Hardy s.n.* (QUE).

C. ficifolium a été signalé dernièrement par Bouchard *et al.* (1978) comme introduit et établi dans la région de Québec. Les trois comptages rapportés ici viennent simplement s'ajouter aux déterminations chromosomiques déjà faites sur du matériel de la même région (Ste-Foy, Québec, Giffard, St-Pascal de Maizerets, St-Augustin).

12) *CHENOPODIUM GLAUCUM* L.

$2n = 18$ (fig. 4b in Bouchard *et al.*, 1978)
 Pré-traitement: colchicine 0,15%, 1 1/2 h ou
 froid 0,4°C, 7 h
 Comté de Québec: Sainte-Foy, Place Dom-
 pierre, cour d'une maison, 24/06/77, *Gervais*
 77-22 (QUE). *Idem*, terrain vague rue Watt,
 près du boul. Henri-IV, 25/08/77, 26/10/77,
Gervais 77-112, 77-177 (QUE). — Comté de
 Deux-Montagnes, Saint-Placide, cour d'un
 garage, 27/08/77, *Gervais* 77-124, 77-125
 (QUE).

Les individus étudiés possèdent des feuilles généralement petites (0,5 à 3 cm), lancéolées à ovales-deltoides, à dents aiguës et à bords involutés. Ils correspondent au *C. glaucum* ssp. *salinum* (Standley) Aellen que Löve (1954) regarde comme un vicariant américain, indigène, du *C. glaucum* eurasiatique. Dans une même ligne de pensée, Mulligan (1959) et Hultén (1970) considèrent le *C. glaucum* s. str. comme introduit et commun dans l'est alors que le ssp. *salinum* se rencontrerait surtout dans l'ouest du continent. Si cette hypothèse est juste, il faut constater que les échanges est-ouest ont fait du ssp. *salinum* une plante très commune dans l'est, à en juger par les herbiers examinés. Les deux taxons sont diploïdes ($2n = 18$) et les déterminations chromosomiques suivantes s'y rapportent dans l'est de l'Amérique: Goose Bay, Labrador; Collingwood, Ontario; Deschambault, Comté Portneuf (pour le ssp. *glaucum*); port de Québec (pour le ssp. *salinum*). Les deux premiers de ces comptages ont été réalisés par Mulligan (1959) et les deux autres sont mentionnés dans Bouchard *et al.* (1978).

13) *EPILOBIUM HIRsutum* L.

$2n = 38$ (fig. 8 à 10)
 Pré-traitement: colchicine, 0,15% environ 2 h
 Comté de Québec: Sainte-Foy, entre les rues
 Versant-Nord et Watt, champs incultes,
 03/08/76, 25/08/77, *Gervais* 76-48, 77-110
 (QUE).

E. hirsutum est une espèce eurasiatique qui se rencontre occasionnellement au Québec et dans l'est de l'Amérique en général où elle est introduite. Bien que les nombreux auteurs européens qui ont réalisé des comptages chromosomiques sur cette espèce rapportent tous le nombre $2n = 36$, il semble que la plante étudiée ici possède 38 chromosomes, vérification faite sur plusieurs cellules. Il est possible qu'il y ait eu fragmentation de chromosomes ou que nous soyons en présence de chromosomes B, mais la formation de fragments ne serait pas si régulière d'une cellule à l'autre et des B seraient vraisemblablement plus petits que les plus petits chromosomes visibles sur les figures 8 à 10. Nous sommes peut-être tout simplement en présence d'un individu aneu- ploïde et il serait intéressant de faire des comptages sur des spécimens récoltés ailleurs au Québec pour vérifier s'ils appartiennent à ce même cytotype.

14) *ERIGERON HYSSOPIFOLIUS* MICHX.

$2n = 18$ (fig. 11)

Comté de Matane: Mont Logan, Grande arête rocheuse (Razorback Ridge), schistes et végétation basse vers 900 m, 21/08/62, *Gervais* 62-315 (QUE).

L'E. hyssopifolius est une espèce boréale canadienne à distribution transcontinentale plus ou moins discontinue. Elle se rencontre habituellement sur les bords rocaillieux des lacs et des rivières, apparemment en relation avec la présence de sols calcaires (Rousseau, 1974). Dans la région du Mont Logan, la plante semble confinée à une seule station, en altitude (plus de 900 m), sur une arête schisteuse bien drainée.

Le nombre chromosomique trouvé, $2n = 18$, correspond à celui qui a été compté par Montgomery et Yang (1960) sur un individu provenant de Port Arthur (Ont.). C'est apparemment la seule autre détermination chromosomique réalisée sur cette espèce.

15) *EUPATORIUM MACULATUM* L.

$2n = 20$ (fig. 12)

Comté de Québec: Sainte-Foy, champs près du Complexe scientifique, 04/10/71, *Gervais* 71/339 (QUE).

Le nombre chromosomique de cette espèce, $2n = 20$, avait déjà été déterminé par Grant (1953) sur du matériel récolté en Ontario (6 localités), dans l'est des États-Unis (2 localités) et au Québec (Sainte-Anne-des-Monts, Comté de Gaspé). Le var. *foliosum* (Fern.) Wieg. aurait le même nombre chro-

mosomique (Parry Sound, Ont.). On notera, sur la figure 12, la présence d'une paire de chromosomes à centromères sub-terminaux.

16) *GALEGA OFFICINALIS* L.

$2n = 16$ (fig. 13)

Pré-traitement: froid 4°C, 20 h

Comté de Québec: Sainte-Foy, près des édifices du Complexe scientifique, 07/11/75, Gervais 75-88 (QUE).

Cette légumineuse d'origine eurasiatique, parfois cultivée comme plante fourragère ou ornementale, semble avoir été introduite accidentellement près des édifices du Complexe scientifique (lisière des arbres, endroit semi-ombragé). Elle s'y maintient depuis au moins 1974. Son nombre chromosomique, $2n = 16$, a été compté déjà à quelques reprises par différents chercheurs européens. On remarquera, sur la figure 13, une paire de



Figure 18. A) Silhouette d'un *Chenopodium album* atypique à feuilles étroites, Gagnon 21 $2n = 54$. Les feuilles sont redevenues normales à la 2^{ième} génération. B) Silhouette d'un *C. album* ayant l'apparence d'un hybride *album* X *ficifolium*, Gervais 78-330, $2n = 54$.

chromosomes courts à centromères sub-terminaux.

17) *LEPIDIUM DENSIFLORUM* Schrad.

$2n = 32$ (fig. 14)

Comté de Charlevoix : Notre-Dame-des-Monts, bordure d'un chemin de terre, 15/09/71, *J. Cayouette 1589* (QUE). — État du Maine, E.-U. : Kennebunk Beach, rochers maritimes, 09/08/77, *Gervais 77-101* (QUE).

Cette mauvaise herbe introduite possède $2n = 32$ chromosomes de très petite taille. Ce nombre chromosomique a été compté également par plusieurs chercheurs, mais n'est relevé qu'une seule fois pour le N.-E. de l'Amérique : Mulligan (1957) sur du matériel provenant d'Ottawa.

Les chromosomes ont été comptés sur des cellules de jeunes feuilles n'ayant pas subi de traitement préalable par le froid ou la colchicine.

18) *MALVA VERTICILLATA* L.

$2n = c. 126$ (fig. 15)

Comté de Québec : Sainte-Foy, terrain vague, 02/11/75, 05/11/75, 09/11/75, *Gervais 75-81, 75-87, 75-89* (QUE).

Cette espèce au port dressé, caractérisée par des touffes de petites fleurs bleutées naissant à l'aisselle des feuilles réniformes, 5-7 lobées, semble avoir disparu du terrain vague (ouest du boulevard Henri-IV, 100 m au nord du chemin Sainte-Foy) où quelques individus avaient été observés à l'automne 1975.

Les cytologistes qui ont étudié les nombres chromosomiques des mauves rapportent $2n = 84$ pour *M. verticillata* (Skovsted, 1935; Adamkiewicz et Bijok, 1971) et $2n = c. 120$, $2n = 112$ pour *M. crispa* L. (Skalinska et al., 1971; Skovsted, 1935; Ford, 1938; Delay, 1947; Adamkiewicz et Bijok, 1971). Le nombre trouvé ici, $2n = 126$, se rapproche évidemment davantage de celui de *M. crispa*, mais les témoins ne possédant pas de feuilles à marges crépues, on peut hésiter à les placer dans cette espèce, regardée d'ailleurs par certains comme une simple variété de *M. verticillata*. Il est possible toutefois que cette plante eurasiatique, introduite, ne puisse se développer normalement à la latitude de Québec.

Les graines de *M. verticillata* germent très rapidement (environ 12 h) et les chromosomes ont été comptés sur des racines de plantules sans qu'il ait été nécessaire de leur faire subir un pré-traitement. Le nombre

$2n = 126$ s'est vérifié sur les 2 meilleures métaphases observées, mais il faut admettre, à cause des superpositions, que ces comptages laissent place à interprétation.

19) *STREPTOPUS X OREOPOLUS* Fern.

$2n = 24$ (fig. 16)

Comté de Matane : Mont Logan, forêt subalpine du versant ouest vers 1 000 m, 22/08/62, *Gervais 62-223* (QUE).

Le nombre chromosomique triploïde, $2n = 24$, rapporté ici pour cette plante stérile, aux fleurs violacées, confirme les résultats obtenus par Löve et Harries (1963) sur du matériel semblable du mont Washington (New Hampshire) et prouve une fois de plus la nature hybride du *S. oreopolus*, comme le croyait Fernald (1907). Reste à élucider pourquoi les espèces parentales, *S. amplexifolius* (L.) DC. à $2n = 32$ chromosomes et *S. roseus* Michx. à $2n = 16$, ne semblent s'hybrider qu'en montagne ou en climat côtier frais (mont Logan, mont Albert, mont Jacques-Cartier, mont Washington, mont Katahdin, pentes N.-O. de Terre-Neuve, Mingan).

Les dessins présentés par Löve et Harries (1963, p. 314) montrent respectivement la présence de 4, 3 et 2 chromosomes longs à satellites chez *S. amplexifolius*, *S. oreopolus* et *S. roseus*; l'observation de 3 chromosomes de ce type chez *S. oreopolus* est une bonne démonstration du fait que cet hybride réunit 2 génomes «*amplexifolius*» et 1 génome «*roseus*». La figure 16 n'est pas aussi nette et on n'y aperçoit que 2 chromosomes longs à satellites, ceux du troisième chromosome étant sans doute masqués ou contractés; en outre, 2 chromosomes courts à satellites sont visibles. La présence de plusieurs chromosomes à satellites (longs ou courts) sur le matériel du mont Logan et sur celui du mont Washington ne concorde pas avec les caryogrammes établis par Bent et Smith (1969) indiquant que seul *S. roseus* possède une paire de chromosomes à satellites; ce point reste à éclaircir. Aucun satellite n'est visible sur la figure 17 représentant les chromosomes de *S. roseus*, mais ces derniers, observés sur des cellules de tissus staminaux, sont très contractés.

20) *STREPTOPUS ROSEUS* Michx.

$2n = 16$ (fig. 17)

Comté de Lévis : Saint-Romuald, collines boisées entre l'autoroute et la rivière Etchemin, 11/05/71, *Gervais et R. Cayouette 71-201* (QUE).

Fassett (1935) subdivise *S. roseus* en quatre variétés occupant chacune une aire géographique propre. La plante étudiée ici prend place, par ses pédicelles ciliés, dans le var. *perspectus* Fassett qui se rencontre dans le N.-E. de l'Amérique. Le nombre chromosomique observé, $2n = 16$, correspond aux comptages déjà réalisés pour le var. *perspectus* en Nouvelle-Écosse par Bent et Smith (1969), au mont Washington par Kawano (*in* Löve et Harries, 1963) et Löve et Löve (1966). Ces derniers auteurs ont compté encore (Löve et Löve, 1965) le nombre $2n = 16$ sur des plantes appartenant au var. *longipes* (Fern.) Fassett, dans le sud du Manitoba, et sur du matériel se rapportant au var. *curvipes* (Vail) Fassett, récolté en Colombie-Britannique (Yoho Valley). Taylor et Mulligan (1968) rapportent toutefois le nombre $2n = 48$ pour le var. *curvipes* dans l'archipel de la Reine-Charlotte, ce qui nous indique qu'un examen cytologique du genre *Streptopus* est à faire du moins dans la partie N.-O. de son aire.

Remerciements

L'auteur désire remercier Mme M. Bernier qui a dactylographié le manuscrit, MM. G. Gilbert et J.-G. Denis qui se sont chargés des photographies des silhouettes de chénopodes, et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail par leurs conseils ou par l'envoi de matériel botanique.

Références

- ADAMKIEWICZ, E. and K. BIJOK, 1971. Badania Kariologiczne nad trzema gatunkami rodzaju *Malva* L. — *Acta Soc. Bot. Pol.*, 40: 395-400.
- BARNETT, F. L., 1955. A karyological survey of several *Bromus* species. — *Agron. J.*, 47: 88-91.
- BENT, A. E. and E. C. SMITH, 1969. Karyotype analysis in the Nova Scotian species of *Streptopus Michx.* (Liliaceae). — *Can. J. Genet. Cytol.*, 11: 409-413.
- BOUCHARD, C. J., D. DOYON et C. GERVAIS, 1978. Étude comparative de trois chénopodes adventices dans les cultures de la région de Québec: *Chenopodium album* L., *C. ficifolium* Smith et *C. glaucum* L. — *Naturaliste can.*, 105: 41-50.
- BOWDEN, W. M., 1960. Chromosome numbers and taxonomic notes on northern grasses. II. Tribe Festuceae. — *Can. J. Bot.*, 38: 117-131.
- COLE, M. J., 1962. Interspecific relationships and intraspecific variation of *Chenopodium album* L. in Britain II. The chromosome numbers of *C. album* L. and other species. — *Watsonia*, 5: 117-122.
- DELAY, C., 1947. Recherches sur la structure des noyaux quiescents chez les Phanérogames. — *Revue Cytol. Cytophysiol. vég.*, 9: 169-122; 10: 103-229.
- ELKINGTON, T. T. and L. C. MIDDLEFELL, 1972. Population variation within *Centaurea nigra* L. in the Sheffield region. — *Watsonia*, 9: 109-116.
- ELLIOTT, F. G., 1948. Cross-fertility and cytogenetics of selected Bromopsis section members within the genus *Bromus* L. — *Iowa St. Coll. J. Sci.*, 24: 44-45.
- ELLIOTT, F. G., 1949. The cytology and fertility relations of *Bromus inermis* and some of its relatives. — *Agron. J.*, 41: 298-303.
- FASSETT, N. C., 1935. Notes from the Herbarium of the University of Wisconsin — XII. A study of *Streptopus*. — *Rhodora*, 37: 88-113.
- FERNALD, M. L., 1907. *Streptopus oreopolus* a possible hybrid. — *Rhodora*, 9: 106-107.
- FERNALD, M. L., 1925. Persistence of plants in unglaciated areas of boreal America. — *Am. Acad. Arts and Sci. Mem.*, 15: 241-342.
- FORD, C. E., 1938. A contribution to a cytogenetical survey of the Malvaceae. — *Genetica*, 20: 431-453.
- GARDOU, C., 1972. Recherches biosystématiques sur la section *Jacea* Cass. et quelques sections voisines du genre *Centaurea* L. en France et dans les régions limitrophes. — *Feddes Repert.*, 83: 311-472.
- GERVAIS, C., 1979. Le *Chenopodium strictum* Roth au Québec et ses caractères distinctifs. — *Naturaliste can.*, 106: 331-336.
- GRANT, W. F., 1953. A cytotoxic study in the genus *Eupatorium*. — *Am. J. Bot.*, 40: 729-742.
- GUINOCHET, M., 1957. Contribution à l'étude caryologique du genre *Centaurea* L. sens. lat. — *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N.*, 48: 282-300.
- HULTÉN, E., 1970. The circumpolar plants. II Dicotyledons. — *K. svenska VetenskAkad. Handl.*, 13(1): 1-463.
- JOHNSON, A. W. and J. G. PACKER, 1968. Chromosome numbers in the flora of Ogotoruk Creek, N.W. Alaska. — *Bot. Notiser*, 121: 403-456.
- KAWATANI, T. and T. OHNO, 1962. Chromosome numbers of Genus *Chenopodium* III. — *Jap. J. Genet.*, 37: 78-79.
- KJELLMARK, S., 1934. Einige neue Chromosomenzahlen in der Familie Chenopodiaceae. — *Bot. Notiser*, 1934: 136-140.
- LÖVE, A., 1954. Cytotaxonomical evaluation of corresponding taxa. — *Vegetatio*, 5-6: 212-224.
- LÖVE, A. and D. LÖVE, 1965. Taxonomic remarks on some American alpine plants. — *Univ. Colo. Stud. Ser. Biol.*, 17: 1-43.

- LÖVE, A. and D. LÖVE, 1966. Cytotaxonomy of the alpine vascular plants of Mount Washington. — Univ. Colo. Stud. Ser. Biol., 24 : 1-74.
- LÖVE, A. and D. LÖVE, 1975. In: A. Löve, IOPB chromosome number reports. L. — Taxon, 24 : 671-678.
- LÖVE, D. and H. HARRIES, 1963. *Streptopus oreopolus* Fern., a hybrid taxon. — Rhodora, 65 : 310-317.
- MAGUIRE, B., 1943. A monograph of the genus *Arnica* (Senecioneae, Compositae). — Brittonia, 4 : 386-527.
- MALTAIS, B. et C. J. BOUCHARD, 1978. Une moutarde des oiseaux (*Brassica rapa* L.) résistante à l'atrazine. — Phytoprotection, 59 : 117-119.
- MITCHELL, W. W., 1967. Taxonomic synopsis of *Bromus* section *Bromopsis* (Graminae) in Alaska. — Can. J. Bot., 45 : 1309-1313.
- MITCHELL, W. W. and A. C. WILTON, 1965. Redefinition of *Bromus ciliatus* and *B. richardsonii* in Alaska. — Brittonia, 17 : 278-284.
- MONTGOMERY, F. H. and S. J. YANG, 1960. Cytological studies in the genus *Erigeron*. — Can. J. Bot., 38 : 381-386.
- MOORE, D. M., 1978. In: H. E. Street (ed.), Essays in Plant Taxonomy. Academic Press, London, New York, San Francisco, 304 p.
- MOORE, R. J., 1968. In: A. Löve, IOPB Chromosome number reports. XVIII. — Taxon, 17 : 419-422.
- MULLIGAN, G. A., 1957. Chromosome numbers of Canadian weeds. I. — Can. J. Bot., 35 : 779-789.
- MULLIGAN, G. A., 1959. Chromosome numbers of Canadian weeds II. — Can. J. Bot., 37 : 81-92.
- ORNDUFF, R., T. MOSQUIN, D. W. KYHOS and P. H. RAVEN, 1967. Chromosome numbers in Compositae. VI — Senecioneae. 2. — Am. J. Bot., 54 : 205-213.
- 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.
- ROY, B., 1937. Chromosome numbers in some species and hybrids of *Centaurea*. — J. Genet., 35 : 89-93.
- SCHULZ-SCHAEFFER, J., 1956. Cytologische Untersuchungen in der Gattung *Bromus* L. — Z. Pfl Zücht., 35 : 297-320.
- SKALINSKA, M., A. JANKUN, H. WCISLO *et al.*, 1971. Studies in chromosome numbers of Polish Angiosperms. Eighth contribution. — Acta biol. cracov., Ser. Bot., 14 : 55-102.
- SKOVSTED, A., 1935. Chromosome numbers in the Malvaceae. I. — J. Genet., 31 : 263-296.
- TAYLOR, R. L. and G. A. MULLIGAN, 1968. Flora of the Queen Charlotte Islands. Part 2. Cytological aspects of the vascular plants. — Res. Brch, Can. Dep. Agric., Monogr. No. 4, Part 2, 148 p.
- WAGNON, H. K., 1952. A revision of the genus *Bromus*, section *Bromopsis*, of North America. — Brittonia, 7 : 415-480.
- WITTE, M. B., 1947. A comparative cytological study of three species of the Chenopodiaceae. — Bull. Torrey bot. Club, 74 : 443-453.
- ZHUKOVA, P. G., 1967. Karyology of some plants, cultivated in the Artic-Alpine Botanical Garden — In: N. A. Avrorin (Ed.), Plantarum in zonam polarem Transportatio. II. Leningrad, p. 139-149. (In Russ.).
- ZHUKOVA, P. G. and V. V. PETROVSKI, 1971. Chromosome numbers of certain flowering plants of the Wrangel Island. — Bot. Zh. SSSR 56 : 294-305. (In Russ.).
- ZHUKOVA, P. G. and A. D. TIKHONOVA, 1971. Chromosome numbers of certain plant species indigenous to the Chukotsky province. — Bot. Zh. SSSR, 56 : 868-875. (In Russ.).

ÉVOLUTION DU RENDEMENT ET DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LA LUZERNE (*MEDICAGO SATIVA* L.) AVEC L'ÂGE

Jean F. BERTRAND¹ et Paul GERVAIS

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

Résumé

L'évolution du rendement et de la composition chimique de deux cultivars de luzerne a été étudiée de semaine en semaine durant 10 semaines au cours du 1^{er} cycle de végétation sur une période de trois ans. On a aussi établi l'influence de la date de la 1^{ère} récolte sur la production annuelle. Le croît hebdomadaire en matière sèche a été rapide, marqué et significatif chez les deux cultivars durant les sept premières semaines, soit jusqu'au 9 juillet. Par la suite, l'accumulation de la matière sèche a continué chez Alfa à un rythme de plus en plus faible jusqu'à la 10^e semaine, tandis qu'elle est demeurée stationnaire chez Vernal durant tout le mois de juillet. Les deux cultivars ont livré leur rendement annuel maximum lorsque la 1^{ère} coupe a été effectuée aux environs de la pleine floraison. Les pourcentages de protéine brute, de matières grasses, de cendres, d'unités nutritives, de Ca, P, K et Mg ont baissé alors que celui de la fibre brute a augmenté avec l'âge du végétal. La teneur en Na n'a montré aucune tendance particulière. Il n'y a eu aucune différence significative dans les teneurs des deux cultivars en ces divers constituants chimiques, sauf pour le Na qui était plus élevé dans Alfa que dans Vernal.

Abstract

Dry matter yields and chemical composition of two cultivars of alfalfa were determined weekly for 10 weeks during the first growth cycle over a period of 3 years. Additional cuttings were taken during the season to evaluate the effect of the date of the first defoliation on the total annual production. Dry matter accumulation increased rapidly and significantly during the first seven weeks, *i.e.* up to July 9 for both cultivars. Thereafter, the yields of Alfa increased more and more slowly up to the 10th week while those of Vernal remained stable for the entire month of July. The highest annual production was obtained from both cultivars when the first cut was taken around the full bloom stage. Percentages of crude protein, fat, ash, TDN, Ca, P, K, and Mg decreased and that of crude fibre increased with advance in maturity. The Na content showed no particular trend. There was no significant difference in the content of the two cultivars in any of the chemical constituents, except for Na which was higher in Alfa than in Vernal.

Introduction

La hausse du coût des protéines végétales, la montée des prix des engrais azotés et l'Opération-Luzerne d'Agriculture Québec ont beaucoup contribué à l'extension des surfaces en luzerne au cours des dernières années. Selon le Recensement du Canada, la luzerne occupait, en semis purs et en mélanges, 155 824 hectares au Québec en 1976, soit au-delà du double des surfaces recensées (75 053 ha) en 1966.

Sous nos conditions, la luzerne est la plante fourragère pérenne la plus productive en matière sèche et en protéines à l'hectare. Le rendement, la valeur alimentaire et la persistance de cette légumineuse dépendent surtout du régime d'exploitation. Le présent travail vise à établir la courbe de productivité de la luzerne, à déterminer la composition chimique des plantes récoltées à différents stades de croissance, à évaluer l'effet de la date de la première coupe sur la production totale et à mesurer le comportement variétal.

¹ Adresse actuelle: Service des productions végétales, Agriculture Québec, 200-A, chemin Sainte-Foy, Québec, G1R 4X6

Revue de littérature

La luzerne croît selon une courbe sigmoïde et le rendement en matière sèche est maximum au stade *pleine floraison* (Willard, 1951). Le rendement en protéines, toutefois, est optimum lorsque les plantes atteignent le stade *10% à 50% en fleurs*. Fulkerson *et al.* (1967) rapportent que la quantité de matière sèche augmente jusqu'à la mi-juillet, puis diminue par la suite. Au stade *premières fleurs*, la luzerne a déjà emmagasiné 75% de sa matière sèche, 81% de sa matière sèche digestible *in vitro* et 86% de sa protéine brute, selon les mêmes auteurs. Les plus hauts rendements en matière sèche digestible avec des niveaux élevés de digestibilité *in vitro* et de protéine brute sont obtenus, d'après Winch *et al.* (1970), en récoltant la luzerne au stade *mi-bouton*. Smith (1977) rapporte les plus hauts rendements en protéine, en calcium et en phosphore au stade *10% en fleurs*. Weir *et al.* (1960), Fulkerson *et al.* (1967), Gervais (1972) et Smith (1977) recommandent de récolter la luzerne au début de la floraison.

Baumgardt et Smith (1962) montrent que le prélèvement de trois récoltes au stade *10% en fleurs*, au lieu de deux au stade *pleine floraison*, augmente le rendement en foin, en protéine et en unités nutritives de 10%, 46% et 31% respectivement. Au-delà de trois récoltes par an, Smith et Nelson (1967) observent que les rendements en fourrage et en protéine diminuent avec la fréquence des coupes.

Il est admis depuis longtemps que la composition chimique des plantes varie avec l'âge. Weir *et al.* (1960), Smith (1964, 1977), Fulkerson *et al.* (1967) et Gervais (1972)

démontrent que la protéine brute baisse et que les fibres brutes, dont la valeur nutritive est faible, augmentent avec l'âge. Smith (1964) note aussi une diminution des matières grasses avec la maturité, mais peu de variations dans les extractifs non azotés. La teneur en cendres, en phosphore, en calcium et en magnésium diminue avec la maturité. Jung *et al.* (1969) observent une baisse de la teneur en éléments minéraux au cours de la croissance de la luzerne.

Baumgardt et Smith (1962) et Waldern *et al.* (1968) rapportent que les pourcentages des unités nutritives totales et de la matière sèche digestible baissent avec la maturité. Reid *et al.* (1959) démontrent que la date de la première récolte affecte l'ingestibilité et la digestibilité du fourrage par les ruminants.

Méthodologie expérimentale

Cette étude a été réalisée à la Station agronomique de l'Université Laval à Saint-Augustin, Québec, sur loam Tilly, sol bien égoutté, de fertilité moyenne et dont le pH varie de 6,6 à 6,9.

On a utilisé, comme dispositif expérimental, la méthode des blocs casualisés avec quatre répétitions. Les parcelles mesuraient 1,5 m sur 6 m et la surface récoltée était de 1 m sur 6 m. On a semencé à la volée, sans plante-abri, la luzerne (*Medicago sativa* L. cv. Alfa et cv. Vernal) le 19 mai 1971, le 23 mai 1972 et le 8 juin 1973 à la dose de 13,5 kg/ha. Dans chaque expérience, on a appliqué 560 kg/ha de 5-20-20 avant le semis l'année d'installation et 560 kg/ha de 0-20-20B le printemps suivant. L'implantation de la luzerne a été excellente dans les trois semis.

TABLEAU I
Calendrier d'exploitation de la luzerne

Traitements	Dates moyennes des coupes			
	1 ^{ère} coupe	2 ^e coupe	3 ^e coupe	coupe finale
1	28 mai	9 juil.	20 août	18 octobre
2	4 juin	16 "	28 "	"
3	11 "	23 "	"	"
4	18 "	30 "	—	"
5	25 "	7 août	—	"
6	2 juil.	13 "	—	"
7	9 "	20 "	—	"
8	16 "	28 "	—	"
9	23 "	—	—	"
10	30 "	—	—	"

TABLEAU II
Dates moyennes de trois stades
de croissance de la luzerne

Cultivars	Stades de croissance		
	Boutons	1 / 10 en fleurs	Pleine floraison
Alfa	17 juin	26 juin	7 juil.
Vernal	22 juin	1 juil.	13 juil.

Le tableau I donne le calendrier d'exploitation suivi et le tableau II consigne les dates moyennes auxquelles les deux cultivars ont atteint certains stades de croissance durant cette étude.

On a procédé, une fois la croissance bien amorcée au printemps, à des coupes hebdomadaires sur une période de 10 semaines afin d'établir la courbe de productivité de chaque cultivar lors du premier cycle de végétation. On a aussi mesuré l'effet de la date de la première coupe sur le rendement total de la luzerne en prélevant des coupes supplémentaires, espacées de six semaines, durant le reste de la saison. Une coupe finale a été prise, après le repos automnal, vers la mi-octobre. Le niveau des coupes a été établi à 5 cm du sol.

On a déterminé le poids frais du fourrage récolté dans chaque parcelle immédiatement après la coupe et prélevé un échantillon de 500 g pour en établir le pourcentage de matière sèche. On a séché les échantillons à une température de 90°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Une fois le poids sec déterminé, on a groupé les quatre échantillons d'un même traitement pour la mouture et gardé un sous-échantillon pour analyse chimique ultérieure.

La détermination de l'azote total a été faite par le procédé Kjeldahl. On a utilisé la méthode décrite par Ward et Johnston (1962) pour la digestion et l'analyseur automatique de Technicon Control Inc. pour le dosage. La méthode de Weende (A.O.A.C., 1960, N° 22 040) a servi à établir la teneur en fibre brute. On a extrait les matières grasses à l'aide d'éther (A.O.A.C., 1950, N°s 22.25 et 22.28).

Les cendres ont été calculées après calcination des échantillons à 600° C pendant deux heures (A.O.A.C., 1960, N° 22 020). On a employé la méthode décrite par Johnson et Ulrich (1959) pour libérer le Ca, le P et le Mg.

La quantification du Ca et du Mg a été réalisée par absorption atomique et celle du P à l'aide de l'analyseur automatique de Technicon Control Inc. selon la méthode de Varley (1966). L'extraction du K et du Na a été effectuée à l'aide de l'oxalate d'ammonium (A.O.A.C., 1965, N°s 6 016, 6 017 et 6 018) et le dosage par émission atomique. Les unités nutritives totales ont été calculées d'après la formule rapportée par Smith (1964).

Résultats expérimentaux

RENDEMENT DU FOURRAGE EN MATIÈRE SÈCHE

Courbes de productivité lors du 1^{er} cycle de végétation

Le rendement en matière sèche (M.S.), au début de la croissance, a évolué de façon similaire pour les deux cultivars. Le croît hebdomadaire a été rapide, marqué et significatif durant les sept premières semaines, soit jusqu'au 9 juillet (fig. 1). Par la suite, l'évolution du rendement a varié selon les cultivars. Chez la luzerne Alfa, cultivar précoce et de type flamand, l'accumulation de la matière sèche a continué au-delà du stade *pleine floraison*, mais à un rythme de plus en plus faible jusqu'à la fin de juillet. Ces résultats rejoignent ceux de Smith (1964) et de Fulkerson *et al.* (1967). La production de la luzerne Vernal, cultivar semi-tardif et de type nord-américain, est demeurée stationnaire durant tout le mois de juillet. Au cours du 1^{er} cycle de végétation, Alfa a surpassé Vernal en rendement (5 299 kg contre 4 548 kg/ha de M.S.).

Influence de la date de la 1^{ère} coupe sur le rendement annuel

Le rendement annuel maximum des deux cultivars a été atteint dans les traitements 7 et 8, c'est-à-dire lorsque la luzerne a été coupée aux environs de la pleine floraison à la 1^{ère} récolte (fig. 2). La contribution de cette récolte, prise plutôt tardivement, est si grande qu'elle a un effet déterminant sur le rendement annuel. Il est possible, toutefois, de faire la 1^{ère} coupe plus tôt, au stade *premières fleurs* (traitements 5 et 6), pour obtenir un fourrage de plus haute qualité sans réduire outre mesure le rendement. La date de coupe lors du 1^{er} cycle de végétation, en plus d'affecter le rendement et la qualité du fourrage, influence aussi la repousse au cours des cycles subséquents et, par conséquent, le nombre de récoltes à prélever durant la saison (tableau I). En ren-

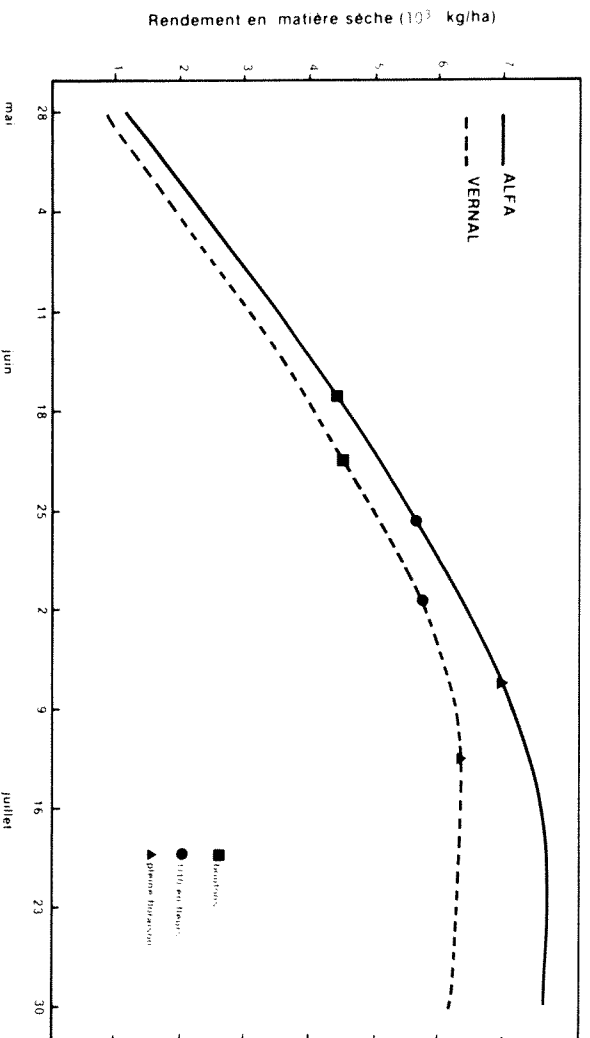


Figure 1. Courbes de productivité des luzernes Alfa et Vernal au cours du premier cycle de végétation, 1972-1974.

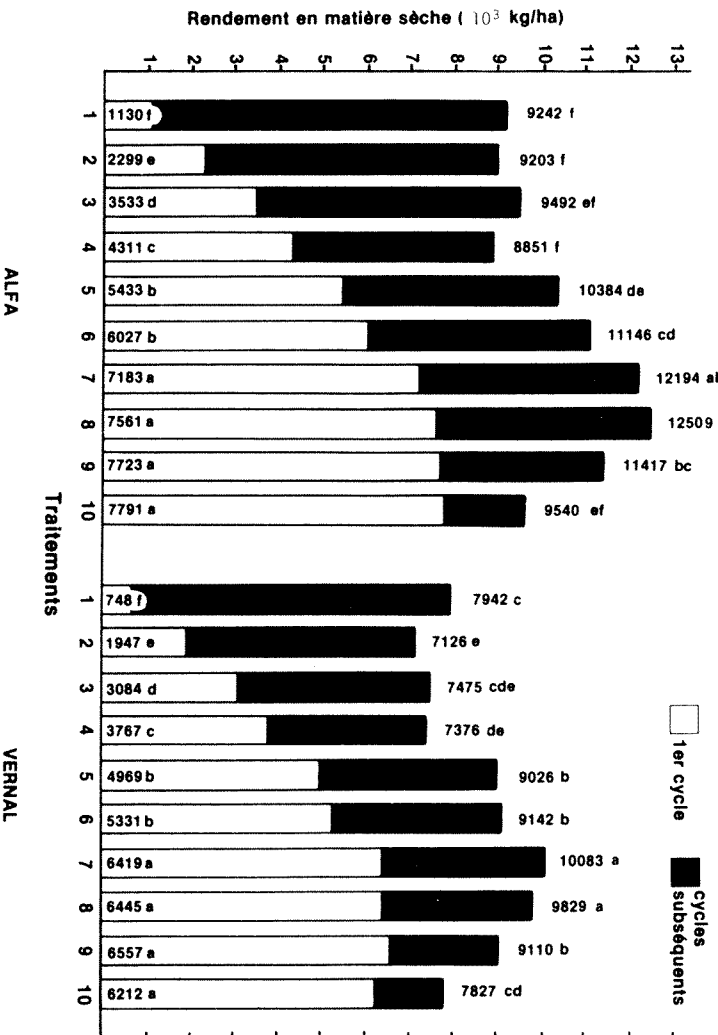


Figure 2. Production annuelle des luzernes Alfa et Vernal, 1972-1974.

dement annuel, Alfa a maintenu sa supériorité sur Vernal (10 398 kg contre 8 494 kg/ha de M.S.).

COMPOSITION CHIMIQUE DU FOURRAGE

Protéine brute (PB)

Le pourcentage de PB a diminué constamment avec le vieillissement du végétal chez les deux cultivars (tableau III). Nombre d'auteurs (Van Riper et Smith, 1959; Weir *et al.*, 1960; Smith, 1964; Fulkerson *et al.*, 1967; Jung *et al.*, 1969; Lee et Smith, 1972) ont déjà rapporté que la teneur en PB était liée à l'âge des plantes. Dans cette étude, le déclin a été particulièrement marqué au cours des cinq premières semaines; par la suite, la baisse s'est poursuivie au ralenti. De la 1^{ère} à la 10^e semaine de croissance la baisse a été d'environ 50%, soit 0,21% par jour. Il n'y a pas eu de différence significative entre les cultivars, mais le teneur moyenne de Vernal en PB a été légèrement plus élevée que celle d'Alfa (20,0% contre 18,8%).

Fibre brute (FB)

L'augmentation dans la teneur en FB a été très marquée, surtout au cours de la première moitié du cycle de végétation. Du début à la fin du cycle, le pourcentage de FB a triplé, ce qui donne un accroissement moyen de 0,41% par jour. Des variations de cette nature ont été notées par Van Riper et Smith (1959), Weir *et al.*, (1960), Smith (1964) et Waldern *et al.*, (1968). Alfa et Vernal ont montré une teneur semblable en FB (30,8% contre 31,3%).

Extractifs non azotés (ENA)

Le fourrage récolté au tout début du cycle contenait plus d'ENA que celui coupé plus tardivement. Alfa avait une teneur moyenne plus élevée que Vernal (41,3% contre 39,7%), mais la différence entre les deux n'est pas significative.

Matières grasses (MG)

On a noté une diminution régulière dans la teneur en MG avec la maturité des deux

TABLEAU III

Composition chimique brute des luzernes Alfa et Vernal au cours du premier cycle de végétation, 1972-1974¹

Dates des récoltes	Hauteur (cm)	Protéine brute (%)	Fibre brute (%)	Extractifs non azotés (%)	Matières grasses (%)	Cendres (%)
<i>Luzerne Alfa</i>						
28 mai	26,1	27,1 a	13,6g	47,8a	2,4 a	9,1 a
4 juin	45,6	25,0a	19,8f	44,2b	2,2b	8,8a
11 juin	58,4	22,6b	24,7e	41,9bc	2,1bc	8,6ab
18 juin	72,2	20,4b	29,4d	40,3cd	1,9cd	7,9bc
25 juin	90,7	18,0c	32,4d	40,6cd	1,8de	7,2cd
2 juil.	100,5	16,7cd	33,0cd	41,9bc	1,6ef	6,8de
9 juil.	105,4	15,7cde	36,4bc	40,0cd	1,5fg	6,4ef
16 juil.	112,1	14,9de	38,5ab	39,0cd	1,4g	6,2ef
23 juil.	119,8	14,2e	39,9ab	38,4d	1,4g	6,1ef
30 juil.	121,4	13,5e	40,3a	39,0cd	1,3g	5,9f
<i>Luzerne Vernal</i>						
28 mai	20,8	28,1 a	14,6h	45,8a	2,4 a	9,1 a
4 juin	38,6	24,8b	19,9g	44,0ab	2,1ab	9,2a
11 juin	51,2	23,3bc	24,4f	41,6bc	2,2a	8,5a
18 juin	63,2	21,6cd	28,9e	40,2cd	1,9bc	7,4b
25 juin	82,0	19,5de	32,7d	39,2cde	1,7cd	6,9bc
2 juil.	87,6	18,3def	35,9cd	37,5ef	1,6cde	6,7bcd
9 juil.	99,5	17,7efg	37,2bc	37,3ef	1,5de	6,3cde
16 juil.	101,9	16,6efg	38,7abc	37,1ef	1,4de	6,2cde
23 juil.	110,6	15,7fg	40,7a	36,3f	1,3e	6,0de
30 juil.	105,0	14,7g	39,9ab	38,3def	1,4de	5,7e

¹ Les données suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil P = 0,05

TABLEAU IV

Teneur des luzernes Alfa et Vernal en certains éléments minéraux au cours du premier cycle de végétation, 1972-74¹

Dates des récoltes	Ca (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)
	<i>Luzerne Alfa</i>				
28 mai	1,42 ab	0,43 a	3,00 a	0,19 ab	0,037 a
4 juin	1,66 a	0,39 b	2,80 ab	0,20 a	0,036 a
11 juin	1,66 a	0,34 c	2,57 bc	0,19 ab	0,036 a
18 juin	1,65 a	0,31 cd	2,45 cd	0,17 bc	0,034 a
25 juin	1,59 ab	0,29 de	2,25 de	0,16 cd	0,034 a
2 juil.	1,54 ab	0,27 ef	1,95 ef	0,15 de	0,035 a
9 juil.	1,37 b	0,26 ef	1,84 f	0,14 ef	0,034 a
16 juil.	1,39 b	0,26 ef	1,78 f	0,13 ef	0,033 a
23 juil.	1,36 b	0,25 f	1,76 f	0,12 f	0,031 a
30 juil.	1,34 b	0,24 f	1,70 f	0,12 f	0,031 a
	<i>Luzerne Vernal</i>				
28 mai	1,46 cd	0,39 a	2,72 a	0,17 a	0,025 a
4 juin	1,62 a	0,38 a	2,68 ab	0,17 a	0,022 a
11 juin	1,71 a	0,33 b	2,48 b	0,16 ab	0,020 a
18 juin	1,60 ab	0,31 bc	2,12 c	0,14 bc	0,020 a
25 juin	1,50 bc	0,29 cd	2,07 cd	0,14 bc	0,021 a
2 juil.	1,46 cd	0,27 de	1,82 e	0,12 cd	0,019 a
9 juil.	1,36 de	0,26 de	1,86 de	0,12 cd	0,021 a
16 juil.	1,28 ef	0,25 de	1,83 e	0,11 d	0,021 a
23 juil.	1,23 f	0,25 de	1,80 e	0,11 d	0,025 a
30 juil.	1,18 f	0,23 e	1,67 e	0,11 d	0,021 a

¹ Les données suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil P = 0,05

cultivars, ce qui concorde avec les résultats de Van Riper et Smith (1959), Smith (1964) et Waldern *et al.*, (1968). Alfa et Vernal avaient une égale teneur moyenne en MG (1,75%).

Cendres totales (CT)

Les cendres ont suivi la même tendance que les PB et les MG, soit une diminution graduelle au fur et à mesure du vieillissement du végétal, baisse déjà soulignée par Van Riper et Smith (1959), Smith (1964) et Waldern *et al.*, (1968). Alfa et Vernal avaient pratiquement la même teneur en CT (7,3% et 7,2% respectivement).

Éléments minéraux

Chez les deux cultivars, la teneur en calcium n'a baissé que faiblement en juin, mais d'une façon marquée en juillet (tableau IV). Le pourcentage de Ca en mai, soit au tout début de la végétation, a été moindre qu'en juin. Ces résultats concordent avec ceux de Van Riper et Smith (1959) et Baker et Reed (1977).

Le phosphore, le potassium et le magnésium ont diminué dans le fourrage des deux cultivars avec l'âge des plantes, tel que l'ont déjà noté Smith (1964), Reid *et al.*, (1970) et Baker et Reid (1977). Pour aucun de ces éléments, il n'y a eu de différence significative entre les cultivars.

Les valeurs atteintes en sodium sont faibles et ne présentent aucune variation significative d'une date de récolte à une autre. Ces résultats sont semblables à ceux de Jung *et al.*, (1969) et de Reid *et al.*, (1970). Il faut noter, toutefois, qu'Alfa contient plus de Na que Vernal à chaque date et que la différence est significative pour la teneur moyenne saisonnière (0,034% contre 0,022%).

Unités nutritives totales (UNT)

Au début de la saison de croissance, les UNT sont élevées et restent au-dessus de 60% jusqu'en juillet (tableau V). La baisse est rapide jusqu'aux environs du stade *pleine floraison* (7 juillet) chez Alfa et du stade *10% en fleurs* (1^{er} juillet) chez Vernal. Par la

TABLEAU V

Unités nutritives totales (%) des luzernes Alfa et Vernal au cours du premier cycle de végétation, 1972-1974¹

Dates des récoltes	Alfa	Vernal
28 mai	84,8a	84,0a
4 juin	77,1b	77,0b
11 juin	70,8c	71,5c
18 juin	64,8d	65,9d
25 juin	60,7de	60,9e
2 juil.	59,6ef	56,9ef
9 juil.	55,5fg	55,4fg
16 juil.	52,8gh	53,3fg
23 juil.	51,0gh	50,7g
30 juil.	50,4h	51,2g

¹ Les données suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil P = 0,05

suite, cette baisse est considérablement freinée. Le déclin avec l'âge est très évident et a déjà été souligné par plusieurs auteurs, en particulier Weir *et al.*, (1960), Mowat *et al.*, (1966) et Jung *et al.*, (1969). Les deux cultivars se sont comportés de façon similaire et leur teneur moyenne en UNT est très voisine (61,7% et 62,7%). Wilson *et al.*, (1978) n'ont trouvé aucune différence significative dans les UNT de cinq cultivars.

À la lumière des données recueillies, il ressort que les régies comportant une 1^{ère} coupe au début du stade floral permettent un haut rendement annuel d'un fourrage de qualité dosant plus de 18% de protéine et environ 60% d'unités nutritives digestibles.

Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil des recherches et services agricoles du Québec pour l'aide financière apportée à la réalisation de cette étude et M. Jacques Debroux pour sa participation à l'analyse chimique des fourrages.

Références

Association of official agricultural chemists (A.O.A.C.), 1950, 1960, and 1965. Official methods of analysis, 7th, 9th and 10th ed. — Washington, D.C.

BAKER, B. S. and R. L. REID, 1977. Mineral concentration of forage species grown in Central West Virginia on various soil series. — W. Va. Univ. Bull., No. 657, 60 p.

BAUMGARDT, B. R. and D. SMITH, 1962. Changes in estimated nutritive value of the herbage of alfalfa, medium red clover, ladino clover, and brome grass due to stage of maturity and year. — Univ. Wis., Madison, Wis., No. R1836.

FULKERSON, R. S., D. N. MOWAT, W. E. TOSSELL and J. E. WINCH, 1967. Yield of dry matter, *in vitro*-digestible dry matter and crude protein of forages. — Can. J. Pl. Sci., 47: 683-690.

GERVAIS, P., 1972. Cultivons de la luzerne, la plante fourragère par excellence. — Univ. Laval, Fac. Sc. agric. alim., Feuillet N° 1, 8 p.

JOHNSON, C. M. and A. ULRICH, 1959. Analytical methods for use in plant analysis. — Calif. agric. Exp. Stn Bull., No. 766, 44 p.

JUNG, G. A., R. L. REID and J. A. BALASKO, 1969. Studies on yield, management, persistence and nutritive value of alfalfa in West Virginia. — W. Va. agric. Exp. Stn Bull., No 581T, 80 p.

LEE, CHIN-TIAN and D. SMITH, 1972. Changes in the concentration of nitrogenous fractions of alfalfa herbage with advance in maturity. — Agron. J., 64: 326-327.

MOWAT, D. N., R. S. FULKERSON, W. E. TOSSELL and J. E. WINCH, 1966. The *in vitro* dry matter digestibility of several species and varieties and their plant parts with advancing stages of maturity. — Proc. 9th int. Grassld Congr. Brazil, p. 801-806.

REID, J. T., W. K. KENNEDY, K. L. TURK, S. T. SLACK, G. W. TRIMBERGER and R. P. MURPHY, 1959. Effect of growth stage, chemical composition and physical properties upon the nutritive value of forages. — J. Dairy Sci., 42: 567-571.

REID, R. L., A. J. POST and G. A. JUNG, 1970. Mineral composition of forages. — W. Va agric. Exp. Stn Bull., No. 589T, 35 p.

SMITH, D., 1964. Chemical composition of herbage with advance in maturity of alfalfa, medium red clover, ladino clover, and birds-foot trefoil. — Univ. Wis., Madison, Wis., No. R1905.

SMITH, D., 1977. Establishing and managing alfalfa. — Univ. Wis., Madison, Wis., No. R1741.

SMITH, D. and C. J. NELSON, 1967. Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. I. Responses to height and frequency of cutting. — Crop Sci., 7: 130-134.

VAN RIPER, G. E. and D. SMITH, 1959. Changes in the chemical composition of the herbage of alfalfa, medium red clover, ladino clover and brome grass with advance in maturity. — Univ. Wis., Madison, Wis., No. R1728.

VARLEY, J. A., 1966. Automatic methods for the determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plant material. — Analyst, 91: 119-126.

WALDERN, D. E., T. H. BLOSSER, F. R. MURDOCK and V. F. COLENBRANDER, 1968. Nutritive

- value of alfalfa hay for dairy cows as influenced by maturity, cutting, irrigation and physical form. — Wash. agric. Exp. Stn Bull., No 699, 14 p.
- WARD, G. M. and F. B. JOHNSTON, 1962. Chemical methods of plant analysis. — Minist. Agric. Can. Publ., No. 1064, 59 p.
- WEIR, W. C., L. G. JONES and J. H. MEYER, 1960. Effect of cutting interval and stage of maturity on the digestibility and yield of alfalfa. — J. Anim. Sci., 19: 5-19.
- WILLARD, C. J., 1951. The management of alfalfa meadows after seeding. — Adv. Agron., III: 93-112.
- WILSON, T. R., R. P. KROMANN and D. W. EVANS, 1978. Nutrient digestibility, digestible energy and metabolizable energy and agronomic data for five varieties of alfalfa hay — J. Anim. Sci., 46: 1351-1355.
- WINCH, J. E., R. W. SHEARD and D. N. MOWAT, 1970. Determining cutting schedules for maximum yield and quality of bromegrass, timothy, lucerne and lucerne/grass mixtures. — J. Br. Grassld Soc., 25: 44-52.

FAUNE ICHTYOLOGIQUE DES EAUX INTÉRIEURES DES ÎLES DE LA MADELEINE

Pierre MOUSSEAU

*Centre de recherches écologiques de Montréal, 5858 chemin de la Côte-des-Neiges,
Bureau 400, C.P. 6128, Succ. A, Montréal, H3C 3J7*

Résumé

Les résultats de nombreux inventaires dans les lagunes, bassins, étangs et lacs des îles de la Madeleine font l'objet de cette communication. Elle présente des données physico-chimiques sur les milieux inventoriés, une mise à jour de la liste des poissons qui les fréquentent, une description de cette faune en fonction de la salinité des milieux, une discussion sur les changements notés dans une lagune depuis qu'elle ne communique plus avec la mer, et enfin des notes d'intérêt particulier sur certaines espèces de poissons.

Abstract

Results of surveys in lagoons, basins, ponds and lakes in the Magdalen Islands are presented. They include abiotic data, an updated list of fishes, an analysis of their distribution in relation to water salinity, a discussion on the changes after the closing of a lagoon, and notes of interest on several fish species.

Introduction

L'archipel des îles de la Madeleine, situé dans le golfe de Saint-Laurent, entre 47°39'N. et 62°23'O., est formé d'un groupement d'îles rocheuses reliées entre elles par de longs cordons de sable. Ces longues dunes de sable se présentent souvent doublées en parallèles encaissant des masses d'eau ou lagunes plus ou moins étendues et plus ou moins profondes, suivant les marées ou les saisons. En outre, plusieurs étangs de superficie et de salinité variables sont présents sur les noyaux rocheux et les dunes.

Jusqu'à ce jour, on n'a jamais publié une liste complète des poissons fréquentant les lagunes, bassins, étangs et lacs des îles de la Madeleine. Résultant de l'étude de quelques milieux seulement, des données fragmentaires ont déjà été publiées par Bergeron et Legendre (1970), Cox (1921), Fowler (1915), Garside *et al.* (1972) et Boucher *et al.* (1976). D'autres données inédites proviennent d'un travail miméographié que M. Bergeron a bien voulu mettre à notre disposition (Bergeron, 1956). Quant aux caractéristiques physico-chimiques des différents milieux aquatiques des îles de la Madeleine, seuls Boucher (1964) et Boucher *et al.* (1976) en ont présentées pour un nombre restreint de plans d'eau.

Afin de combler ces lacunes, nous présentons ici les résultats de nos inventaires, qui ont permis d'allonger la liste des espèces de poissons recueillis aux îles de la Madeleine et d'obtenir des données précises sur les caractéristiques physico-chimiques des milieux qu'ils fréquentent.

Matériel et méthodes

Nous avons recueilli des données physico-chimiques dans 12 milieux et échantillonné l'ichtyofaune dans 18 milieux aquatiques différents qui se répartissent en lagunes, bassins, étangs et lacs (fig. 1).

Pour le besoin de l'étude, nous avons divisé les lagunes de la Grande Entrée et du Havre aux Maisons en trois sections: le havre de la Grande entrée, le bassin de la Pointe aux Loups et la lagune du Havre aux Maisons (fig. 1). La première et la troisième sections, grandes étendues d'eau de grande profondeur (5 à 6 m en moyenne), possèdent une ouverture sur la mer, tandis que le bassin de Pointe aux Loups, étroit et peu profond (4 m maximum), fait le lien entre les deux autres sections.

Les données physico-chimiques ont été recueillies principalement en juin 1976, à l'aide d'un analyseur d'eau de type Hydrolab

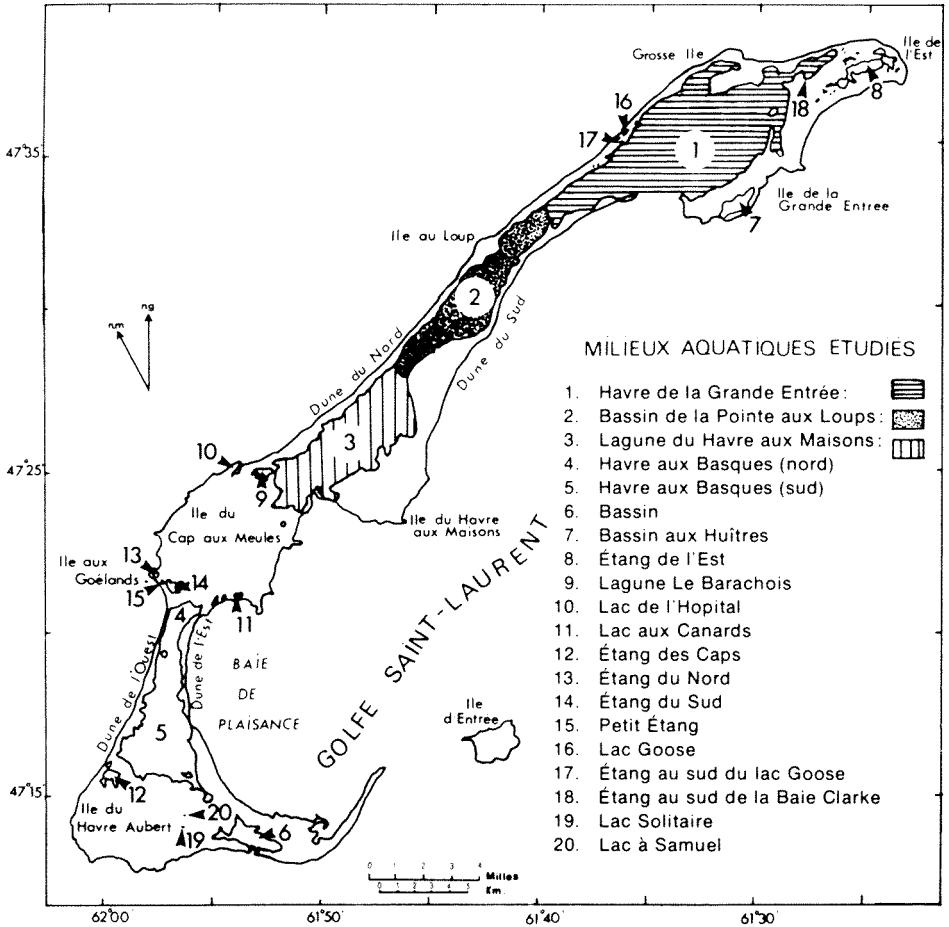


Figure 1. Localisation des milieux aquatiques étudiés aux îles de la Madeleine.

(HydroLab Surveyor Model 6D12). Cet appareil nous a permis d'obtenir des données, précises à une décimale près, de température, de pH, d'oxygène dissous et de conductivité de l'eau dans les différents milieux inventoriés.

L'inventaire de l'ichtyofaune a été effectué durant les mois de juillet et août 1975 dans le havre de la Grande Entrée, le bassin de la Pointe aux Loups, la lagune du Havre aux Maisons et l'étang de l'Est, durant les mois de juin et juillet 1976 pour les 14 autres milieux et l'étang de l'Est et durant le mois de juin 1977 dans le Bassin et le havre de la Grande Entrée.

Les poissons ont été prélevés à l'aide de nasses faites de broche galvanisée (dimen-

sion: 43 × 20 cm; côté de la maille: 6 mm) et appâtées avec des restes de poissons (harengs, sébastes, plies) et du pain, et de filets maillants de type expérimental, de 38 m de longueur et de 2 m de largeur dont la grandeur du côté de la maille (1,27, 1,9, 2,54, 3,81 et 5,08 cm) s'accroissait à tous les 7,6 m. Les nasses ont été réparties dans les milieux étudiés de façon à obtenir une couverture uniforme et les filets de façon à couvrir les différentes profondeurs (tableau I).

Les noms scientifiques et français utilisés sont ceux employés par Leim et Scott (1972). Certains spécimens dont l'identification pouvait être douteuse ont été vérifiés par Don E. McAllister du Musée des Sciences naturelles du Canada, où la plupart des spécimens récoltés ont été déposés.

TABLEAU I

Type d'échantillonnage effectué dans les différents milieux étudiés

Milieux étudiés		1975			1976			1977		
		Nasses	Filets	Durée (heures)	Nasses	Filets	Durée (heures)	Nasses	Filets	Durée (heures)
Havre de la Grande Entrée	(1)	57	2	2 × 24				8	2	1 × 24
Bassin de la Pointe aux Loups	(2)	29	2	2 × 24						
Lagune du Havre aux Maisons	(3)	31	2	2 × 24						
Havre aux Basques (nord)	(4)				4	0	1 × 24			
Havre aux Basques (sud)	(5)				10	4	1 ¹ , 2 × 24			
Bassin	(6)				10	3	1 ² , 2 ² , 3 ² × 24	10	2	2 × 24
Bassin aux Huîtres	(7)				7	2	3 × 24			
Étang de l'Est	(8)	10		1 × 48	5	2	1 × 24			
Lagune Le Barachois	(9)				4	1	2 × 24			
Lac de l'Hôpital	(10)				4	1	1 × 24			
Lac aux Canards	(11)				3	0	1 × 24			
Étang des Caps	(12)				8	2	1 × 24			
Étang du Nord	(13)				2	1	2 × 24			
Étang du Sud	(14)				4	1	1 × 24			
Lac Goose	(16)				3	0	1 × 24			
Étang au sud du lac Goose	(17)				1	0	1 × 24			
Étang au sud de la baie Clarke	(18)				2	0	1 × 5			
Lac Solitaire	(19)				3	2	1 × 5			

¹ Une pêche de 24 heures avec les filets² Pêches de 24, 48 et 72 heures avec certains filets et nasses

Résultats

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES MILIEUX ÉTUDIÉS

À partir des données de conductivité et de température, lesquelles apparaissent au tableau II, il nous a été possible, à l'aide d'une table de conversion, de déterminer la salinité de l'eau de 15 des 18 milieux inventoriés (Tiphane et St-Pierre, 1962). Nous avons classifié les différents milieux selon 5 classes de salinité (Hedgpeth, 1951, *vide* Gosner, 1971): eau douce (< 0,5‰), eau oligohaline (0,5 à 3,0‰), eau mésohaline (3,0 à 16,5‰), eau polyhaline (16,5 à 30‰) et eau de mer (> 30‰). Il a été, en outre, possible d'associer le bassin de la Pointe aux Loups à l'eau de mer à cause de son contact avec le havre de la Grande Entrée et la lagune du Havre aux Maisons. En somme, 16 des 20 milieux ont été classifiés selon leur salinité et aucun n'est oligohalin.

L'examen du tableau II révèle que le havre de la Grande Entrée et des lacs Solitaire et à Samuel sont les étendues d'eau les plus profondes: le premier possède la plus grande superficie et les deux lacs, les plus petites. Ces deux lacs possèdent des eaux très froides à cause de leur profondeur, ainsi que les eaux les plus douces. Les valeurs les plus basses d'oxygène dissous et de pH ont été enregistrées au lac Solitaire et les plus hautes à l'étang du Nord.

LA FAUNE ICHTYOLOGIQUE

La présence de 29 espèces de poissons dans 20 milieux des îles de la Madeleine a été déterminée par compilation de nos données et de celles disponibles dans la littérature (tableau III). Nos inventaires nous ont permis de prendre 27 de ces 29 espèces, seuls *Artediellus uncinatus* et *Limanda ferruginea* n'ayant pas été capturés. Huit de ces espèces constituent de nouvelles additions à la faune ichtyologique de l'archipel; ce sont *Alosa sapidissima*, *Clupea harengus*, *Osmerus mordax*, *Gadus morhua*, *Scomber scombrus*, *Pholis gunnelus*, *Ulvaria subbifurcata* et *Hemitripterus americanus*. Cependant, parmi ces espèces, la présence de certaines (*Clupea harengus*, *Scomber scombrus* et *Gadus morhua*) était déjà connue des pêcheurs madelinien.

L'examen du nombre d'espèces par milieu révèle que les milieux en contact avec la mer (salinité élevée) et de grande superficie sont ceux qui sont les plus riches en

espèces: ainsi 20 espèces ont été associées au havre de la Grande Entrée, 17 au Bassin, 17 à la lagune du Havre aux Maisons, contre seulement 2 espèces aux lacs Solitaire et à Samuel. En fait, 28 des 29 espèces inventoriées ont été capturées dans les milieux d'eau de mer si l'on tient compte que *Limanda ferruginea* et *Fundulus diaphanus* proviennent du sud du havre aux Basques avant que l'on ferme les passes qui le faisaient communiquer avec les eaux du Golfe. Il faut cependant dire que la présence de cette dernière espèce surprend, car la seule source qui la rapporte dans ce milieu ne fait pas état de la présence de *Fundulus heteroclitus* (voir plus bas la discussion sur le havre aux Basques). Il ressort en outre, au tableau III, que 13 espèces n'ont été capturées que dans des eaux marines ou polyhalines (toujours en tenant compte des captures dans la section sud du havre aux Basques). Sept espèces sont actuellement répandues dans tous les types de milieu; ce sont *Fundulus heteroclitus*, *Gasterosteus aculeatus*, *Pungitius pungitius*, *Anguilla rostrata*, *Apeltes quadracus*, *Gasterosteus wheatlandi* et *Osmerus mordax*. On note enfin que *Salvelinus fontinalis*, espèce anadrome, n'a été capturée qu'en eau douce.

Notre échantillonnage a permis de connaître la faune ichtyologique de 6 milieux qui n'avaient jamais été inventoriés: le bassin aux Huitres, l'étang de l'Est, le lac de l'Hôpital, le lac Goose, l'étang au sud du lac Goose et celui au sud de la baie Clarke (respectivement les milieux 7, 8, 10, 16, 17 et 18 de la figure 1).

CAS DU HAVRE AUX BASQUES

Il y a 23 ans, le havre aux Basques a subi des modifications importantes. En effet, jusqu'en 1956, le havre aux Basques communiquait avec la mer par deux ouvertures, l'une entre la dune de l'Est et l'île aux Oeufs, et la seconde entre cette dernière et l'île du Cap aux Meules. La construction de jetées dans le cadre de la construction de la route provinciale 199 a isolé le havre aux Basques de la mer. Bien que cette lagune soit en contact avec la mer par une petite ouverture intermittente et peu profonde dans la portion sud de la dune de l'ouest, la salinité de cette lagune a diminué et les échanges avec la mer y sont devenus restreints.

La comparaison de nos captures de 1976 avec celles faites avant la fermeture de cette lagune (tableau III) montre surtout la disparition d'espèces polyhalines et marines:

TABLEAU II

Données physico-chimiques des milieux aquatiques étudiés

Milieux étudiés	N°	Superficie (ha)	Date	Profondeur maximum (m)	Température (°C)	pH	Oxygène dissous (ppm)	Conductivité (m ohm/cm)	Salinité (‰)	Classes de salinité
Havre de la Grande Entrée ¹	1	5200	1964-07-20/23	9,8	16,5-18,5				30,68	eau de mer
Bassin de la Pointe aux Loups	2	2500		6,1						eau de mer ³
Lagune du Havre aux Maisons ¹	3	2700	1964-06-22	6,1	13,5				30,72	eau de mer
Havre aux Basques (nord)	4	25								—
Havre aux Basques (sud)	5	1500	1976-06-18/19	2,9	16,7-20,5	7,25-8,6	4,97-11,32	14,0-26,0	8,99-18,79	polyhalin
Bassin	6	300	1976-06-22	4,1	13,7-18,5	7,6-8,45	7,31-9,58	38,5-40,5	28,85-33,40	eau de mer
Bassin aux Huîtres	7	150	1976-06-16	3,0	13,0-15,5	8,1-8,3	9,0-10,86	21,5-27,5	16,98-22,58	polyhalin
Étang de l'Est	8	250	1975-07	7,6	19,0-20,0		6,4-11,6		3,20-6,25	mésohalin
Lagune Le Barachois	9	46	1976-06-16	2,4	16,5-18,0	8,25-8,7	10,0-10,8	0,27-0,32	0,19-0,21	eau douce
Lac de l'Hôpital	10	10	1976-06-16	1,8	17,5-19,0	8,1-8,2	8,74-9,46	25,0-26,0	18,11-18,90	polyhalin
Lac aux Canards	11	9	1976-07-19	0,6				40,5	32,43	eau de mer
Étang des Caps	12	52	1976-06-17	3,4	16,0-17,25	7,8-8,5	9,2-10,0	0,54-0,63	0,35-0,40	eau douce
Étang du Nord	13	9	1976-06-16	1,2	16,5-18,0	8,9-9,05	11,06-12,61	7,4-7,7	4,79-5,19	mésohalin
Étang du Sud	14	24	1976-06-16	1,8	14,5-17,0	8,1-8,65	9,74-12,35	12,5-14,5	8,64-12,28	mésohalin
Petit Étang	15	2								—
Lac Goose	16	5	1976-06-16	1,3	16,0-19,0	7,7-8,05	9,7-10,2	0,21-0,23	0,14-0,15	eau douce
Étang au sud du lac Goose	17	2								—
Étang au sud de la baie Clarke	18	< 1								—
Lac Solitaire	19	0,5	1976-06-17	11,9 ³	4,5-19,0	5,8-6,75	0,15-8,75	0,13-1,7	0,12-1,47	eau douce
Lac à Samuel ²	20	0,6	1976-06-11	11,6	4,0-17,0			0,24	0,17	eau douce

¹ Selon Boucher, 1964.² Selon Boucher *et al.*, 1976.³ En communication avec les milieux 1 et 3.

Myoxocephalus aeneus, *Pseudopleuronectes americanus* et *Tautoglabrus adspersus* dans la portion nord, *Microgadus tomcod*, *Urophycis tenuis*, *Myoxocephalus aeneus* et *Limanda ferruginea* dans la portion sud.

La présence et l'absence de certaines autres espèces sont probablement liées aux types d'inventaires non exhaustifs. Toutefois une observation nous semble possiblement incertaine; il s'agit de *Fundulus diaphanus* identifié dans la section sud en 1955 au moment où ce milieu était encore en contact direct avec la mer. Selon Leim et Scott (1972), cette espèce serait associée au milieu d'eau douce tout en étant éminemment tolérante au sel et pouvant se rencontrer dans les milieux d'eau saumâtre et non d'eau de mer. Les autres observations de l'espèce ont été faites dans la lagune Le Barachois et à l'étang des Caps, milieux d'eau douce, par Garside *et al.* (1972), Boucher *et al.* (1976) et par nous en 1976.

NOTES SPÉCIFIQUES

Parmi les espèces trouvées dans les milieux aquatiques des îles de la Madeleine, certaines méritent quelques commentaires.

Clupea harengus

Le Hareng atlantique a été trouvé dans le havre de la Grande Entrée, le bassin de Pointe aux Loups, la lagune du Havre aux Maisons et dans le Bassin. Tous les printemps, de la fin avril à la mi-juin, des pêcheurs des îles étendent leurs filets dans le havre de la Grande Entrée afin d'y pêcher le hareng qui leur sert d'appât dans les casiers à homard et les surplus sont utilisés pour consommation humaine. Selon les réponses à un questionnaire rempli par les pêcheurs de hareng, Burton *et al.* (1979) ont estimé à 450 000 kg la quantité de hareng prélevé dans la lagune de la Grande Entrée durant la saison de pêche de 1978. Plus de 503 000 kg de hareng en provenance de la lagune de la Grande Entrée ont été achetés entre le 1^{er} et le 10 mai 1979 par la *National Sea Product* (Antoine Richard, comm. pers.). Comme la pêche au hareng s'est déroulée durant tout le mois de mai 1979, cette dernière évaluation est certainement une sous-estimation des stocks de hareng présents dans cette lagune. Cette grande abondance périodique de hareng dans le havre est liée à l'utilisation de certains fonds comme zone de fraye (Ware et Henriksen, 1978). Selon Leim et Scott (1972), les frayères connues du hareng utilisées au printemps sont pour la

plupart situées près de la côte et, aux îles de la Madeleine, le frai se produirait aussi près de la côte, en eau peu profonde.

Salvelinus fontinalis

La Truite mouchetée fréquente quelques plans d'eau des îles de la Madeleine. Ainsi Boucher *et al.* (1976) ont capturé un individu anadrome qui séjournait depuis peu dans l'étang des Caps. Bergeron (1956) mentionne la présence de l'espèce dans ce milieu en 1953. Ces dernières années, selon les dires d'un pêcheur, il est probable que peu d'individus fréquentent ce milieu d'autant plus qu'un échantillonnage à l'aide de filets n'a pas contredit cette affirmation. De plus, selon Boucher *et al.* (1976), ce milieu offre aux Salmonidés des conditions de vie défavorables causées par l'abondance de carbonate de calcium CaCO₃. Des introductions de l'espèce ont été effectuées dans deux autres milieux, les lacs Solitaire et à Samuel. Au lac Solitaire, selon un des propriétaires, il n'y aurait plus de truites mouchetées, ce qui a été confirmé par notre échantillonnage. Ces deux lacs, les plus importants aux îles de la Madeleine, ne sont d'aucun intérêt pour cette espèce de poisson à cause de leur petite superficie, de leur faible circulation d'eau, de leur fond vaseux et de l'absence de littoral rendant ainsi la reproduction impossible (Boucher *et al.*, 1976). Cette espèce est donc appelée à disparaître des îles de la Madeleine.

Osmerus mordax

Rare au début du siècle (Cox, 1921), l'Éperlan d'Amérique est modérément représenté sur les côtes des îles de la Madeleine (Leim et Scott, 1972). Bien que Garside *et al.* (1972) ne l'aient pas observé, notre inventaire note la présence de l'espèce dans 8 plans d'eau différents.

Anguilla rostrata

L'Anguille d'Amérique, abondante dans les étangs formés par les marées, les estuaires et les rivages et les baies dont le fond est herbeux (Cox, 1921), a été observée dans 13 milieux des îles. Dans plusieurs plans d'eau, principalement des étangs, des pêches à anguille ont été notées. Selon quelques madelinots, cette espèce serait très abondante dans l'étang de l'Est; on la pêche à l'automne en pratiquant une ouverture dans la dune permettant un contact avec la mer. Les anguilles sont alors capturées lorsqu'elles tentent d'atteindre la mer.

TABLEAU III

Répartition de la faune ichthyologique selon les différents milieux étudiés et leur salinité⁴

Espèces	Différents milieux étudiés, classifiés selon leur salinité																Iles de la Madeleine				
	Eau de mer					Polyhalin			Mesohalin			Eau douce				Inconnue					
	1 Havre de la Grande Entrée	2 Bassin de la Pointe aux Loups	3 Lagune du Havre aux Maisons	6 Bassin	11 Lac aux canards	5 Havre aux Basques (section sud)	7 Bassin aux Huitres	10 Lac de l'Hôpital	8 Étang de l'Est	13 Étang du Nord	14 Étang du Sud	9 Lagune Le Barachois	12 Étang des Caps	16 Lac Goose	19 Lac Solitaire	20 Lac à Samuel		4 Havre aux Basques (section nord)	15 Petit Étang	17 Étang au sud du lac Goose	18 Étang au sud de la baie Clarke
<i>Alosa pseudoharengus</i>	F	D		F							D									D, F	
<i>Alosa sapidissima</i>				F						F										F	
<i>Clupea harengus</i>	F		F ¹	F																F	
<i>Salvelinus fontinalis</i>																					
<i>Osmerus mordax</i>	F		F	F		F	F	F ¹	F ¹			F		A, E, F ¹		E ^{1,3} F ^{1,3}	E ³			A, E, F	
<i>Anguilla rostrata</i>	F			F ²	F	F	F	F	F ₁		F									F	
<i>Fundulus diaphanus</i>						C, F					D, F									C, E, F	
<i>Fundulus heteroclitus</i>	D	F	D	D, F	D, F	B, F	F	F	F	D, F	D, F	D, F								C, D, E, F	
<i>Apeltes quadracus</i>	F	D, F	B, D			C, F	F		F	E	D	D, F								B, C, D, E, F	
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	B, F	F	D, F	D, F	D	C, F		F	F	D, E, F	D, F	D		F						B, C, D, E, F	
<i>Gasterosteus wheatlandi</i>	D	D	D	D	D	F			F	D	D	D								D, F	
<i>Pungitius pungitius</i>	F	D, F	D			B, C			F	D, E, F	D	D, F	F	F						F	
<i>Gadus morhua</i>				F																F	
<i>Microgadus tomcod</i>			A	F		C	F													A, C, F	
<i>Urophycis tenuis</i>	F		F			C														C, F	
<i>Tautoglabrus adspersus</i>	B, D, F	F	B, F	F		C, F	F													C	
<i>Scomber scombrus</i>	F	F	F																		
<i>Pholis gunnelus</i>	F	F																		F	
<i>Ulvaria subbiturcata</i>	F																			F	
<i>Menidia menidia</i>		F	A	D	D	C															
<i>Arteidiellus uncinatus</i>	D									E	D									A, C, D, E, F	
<i>Hemitripterus americanus</i>	F																			D	
<i>Myoxocephalus aeneus</i>	F	F	F	F		C														F	
<i>Myoxocephalus octodecemspinosus</i>	D, F			F																C, F	
<i>Myoxocephalus scorpius</i>			A, D	F																D, F	
<i>Scophthalmus aquosus</i>	A, B		F		D															A, D, F	
<i>Limanda ferruginea</i>						B, C														A, B, D, F	
<i>Liopsetta putnami</i>			A	F		B, F	F													B, C	
<i>Pseudopleuronectes americanus</i>	D, F		D, F	D, F	D, F	C, F	F				F									A, B, F	
										D, F											C, D, F
NOMBRE D'ESPÈCES PAR AUTEUR																					
Bergeron, 1956 (A)	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
Bergeron et Legendre, 1970 (B)	3	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Bergeron, comm. pers. (C)	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	13
Garside et al., 1972 (D)	6	5	7	5	6	0	0	0	0	4	8	6	0	0	0	0	0	4	0	0	14
Boucher et al., 1976 (E)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	2	2	0	0	0	0	8
Présente étude (F)	16	10	9	15	3	10	8	4	6	3	6	6	4	2	2	2	1	0	2	3	27
NOMBRE D'ESPÈCES PAR MILIEU	20	12	17	17	7	16	8	4	6	6	11	8	5	2	2	2	10	4	2	3	29

¹ Selon un madelinot.² Présence de pêches à anguille.³ Introduction.⁴ Les lettres identifient les différentes études énumérées dans la seconde partie du tableau.

Fundulus heteroclitus

Selon McAllister (1968), cette espèce ainsi que *Fundulus diaphanus* auraient une chair vénéneuse; les oiseaux et les mammifères refuseraient souvent de les manger parce qu'ils les rendent malades. Cependant il est intéressant de noter que cette espèce a été capturée et apportée au nid en grand nombre en juin, par des sternes communes (*Sterna hirundo*) (Burton et Pilon, 1978).

Gadus morhua

La présence de la Morue franche dans le Bassin est probablement occasionnelle, car cette espèce en est une d'eau froide (inférieure à 10°C) et profonde (Leim et Scott, 1972).

Menidia menidia

Quant à la Capucette, sa présence dans différents milieux des îles de la Madeleine constitue la limite la plus septentrionale où l'espèce a été notée (Leim et Scott, 1972).

Conclusion

Vingt-neuf espèces de poissons constituent à ce jour la faune ichtyologique des eaux intérieures des îles de la Madeleine. Toutes sauf une ont été capturées dans des lagunes et bassins ouverts sur les eaux du golfe du Saint-Laurent. Un nombre restreint d'espèces, en particulier *Anguilla rostrata*, *Fundulus heteroclitus*, *Apeltes quadracus*, *Gasterosteus aculeatus*, *Gasterosteus wheatlandi*, *Pungitius pungitius*, fréquentent les plans d'eau de salinité variable dont certains ne communiquent pas avec la mer ou n'y communiquent que de façon restreinte ou intermittente. Cette particularité ouvre des perspectives intéressantes pour la recherche sur les conditions d'adaptation des poissons aux milieux aquatiques.

Comme dernier aspect intéressant de cette ressource ichtyologique, il est important de noter le rôle important qu'elle joue dans l'équilibre des îles de la Madeleine en servant de proies à différentes espèces d'oiseaux coloniaux abondants et nichant à cet endroit (Burton et Pilon, 1978).

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre de deux projets grâce aux subventions du Conseil national de recherches du Canada pour les années 1975 et 1976 et d'Environnement Canada, Pêches

et Mer, pour 1977. L'auteur tient à remercier Mlle Céline Bouchard pour sa participation lors de la cueillette des données, MM. Julien Bergeron et Antoine Richard pour les informations communiquées, M. Normand David pour la révision des textes, ainsi que M. Don E. McAllister pour la vérification de l'identification des spécimens.

Références

- BERGERON, J., 1956. Liste préliminaire des représentants de la faune de la région des îles de la Madeleine. — Département des Pêcheries, Stn Biol. mar. Grande-Rivière, Québec, non publié, 9 p.
- BERGERON, J. et V. LEGENDRE, 1970. Catalogue des espèces de poissons déposés au Musée de la Station de Biologie marine de Grande-Rivière (Gaspé-sud) 1932-1969. — Cah. Inf. N° 51, Ministère de l'industrie et du commerce, 85 p.
- BOUCHER, M., 1964. Données physiques sur deux lagunes des îles de la Madeleine. — Rapp. a., Stn Biol. mar. Grande-Rivière, p. 31-40.
- BOUCHER, G., J. P. LEBEL et G. LEMAY, 1976. Inventaire des plans d'eau des îles de la Madeleine en fonction des salmonidés et de la sauvagine. — Ministère du tourisme, de la chasse et de la pêche, Service de l'aménagement de la faune, District Bas-Saint-Laurent-Gaspésie, 63 p.
- BURTON, J. et C. PILON, 1978. L'alimentation estivale du Grand Cormoran, du Cormoran à aigrettes, de la Sterne commune et du Fou de Bassan aux îles de la Madeleine en relation avec les pêches commerciales. — Rapp. présenté à Pêches et Mer, Envir. Canada, 35 p., non publié.
- BURTON, J., G. MÉTHOT, P. MOUSSEAU, B. PINEL-ALLOUL et M. TIPHANE, 1979. Étude préliminaire d'impacts du transport de sel par barges dans la lagune de la Grande-Entrée, îles de la Madeleine, Québec. — Rapp. final préparé pour la Société Minière Louvem, 244 p., non publié.
- COX, P., 1921. List of fishes collected in 1917 off the Cape Breton coast and Magdalen Islands. — Contr. Can. Biol., 1918-1920, No. 11, p. 109-114.
- FOWLER, H. W., 1915. Fishes from Eastern Canada. — Proc. Acad. nat. Sci. Philad., 67: 515-519.
- GARSIDE, E. T., J. M. SNAIR and D. L. WAUGH, 1972. Insular fishes of Iles de la Madeleine, Gulf of St. Lawrence, Canada. — Can. Fld-Nat., 86: 275-278.
- GOSNER, K. L., 1971. Guide to identification of marine and estuarine invertebrates. — Wiley-Interscience, Division of John Wiley & Sons, Inc. Toronto, 693 p.
- LEIM, A. H. et W. B. SCOTT, 1972. Poissons de la côte atlantique du Canada. — Office des re-

- cherches sur les pêcheries du Canada, Bull. N° 155, 526 p.
- McALLISTER, D. E., 1968. Poisonous and venomous fishes of Canada. — Nat. Mus. Can. Nat. Hist. Pap., N° 42, 11 p.
- TIPHANE, M. et J. ST-PIERRE, 1962. Table de détermination de la salinité de l'eau de mer par conductivité électrique. — Faculté des Sciences, Université de Montréal, 20 p., non publié.
- WARE, D. M. and B. L. HENRIKSEN, 1978. On the dynamics and structure of the southern Gulf of St. Lawrence Herring stocks. — Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., No. 800, 83 p.

ESTIMATION DE LA DENSITÉ D'ORIGNAUX AU MOYEN D'INVENTAIRES AÉRIENS INCOMPLETS

Michel CRÊTE

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

Résumé

Une extension de la technique de marquage-recapture a été appliquée à l'original pour en déterminer la densité dans une partie du parc du Mont-Tremblant. On a utilisé deux inventaires aériens incomplets au cours desquels on cartographiait la position de groupes reconnaissables d'orignaux. On a estimé la densité à 0,32 original par km², ce qui est comparable aux estimations obtenues par la méthode d'inventaire habituellement employée.

Abstract

An extension of the mark-and-recapture method was used for estimating moose density in part of Mont-Tremblant Park. Position of individually recognizable aggregations was mapped during two incomplete aerial surveys. Moose density was estimated at 0,32 moose per km², which is similar to estimates obtained with the method generally used.

Introduction

Même si l'emploi de l'hélicoptère et la tenue des inventaires aériens au début de l'hiver ont grandement diminué la variabilité des estimations de densité de l'original (*Alces alces*) (Crête et St-Hilaire, 1979), il n'en demeure pas moins que des doutes subsistent quant à l'exactitude de ces estimations. Magnusson *et al.* (1978) ont proposé une extension de la méthode classique de marquage-recapture pour estimer l'abondance d'entités biologiques qui peuvent être cartographiées et dont la localisation permet de les distinguer. Leur approche s'appliquait possiblement aux groupes d'orignaux que l'on peut observer du haut des airs au début de l'hiver alors que les animaux occupent des aires d'environ 0,4 km² (Proulx, 1978). L'expérience rapportée ici visait à vérifier la méthode actuellement utilisée pour estimer la densité de l'original; cette dernière fait appel à une équipe de deux observateurs et d'un navigateur à bord d'un avion cartographiant les réseaux de pistes d'orignaux, et à une équipe de deux observateurs dans un hélicoptère qui dénombre les animaux associés à chaque réseau de pistes.

Méthode

La technique proposée par Magnusson *et al.* (1978) nécessite deux inventaires incomplets au cours desquels on cartographie la position d'unités biologiques reconnaissables, ici des groupes d'orignaux. Les unités cartographiées peuvent être alors divisées en trois classes: 1) unités localisées au cours des deux inventaires (D); cette classe correspond aux unités marquées et recapturées; 2) unités localisées au cours du premier inventaire seulement (I₁); cette classe correspond aux unités marquées au cours de la capture; 3) unités localisées au cours du deuxième inventaire seulement (I₂); cette classe correspond aux unités qui n'étaient pas marquées lors de la recapture. Il faut noter que l'ordre d'exécution des deux inventaires est interchangeable. On substitue alors les valeurs trouvées pour D, I₁ et I₂ dans les équations développées par Magnusson *et al.* (1978) pour estimer la taille de la population (N), la variance (s²) et la probabilité d'observer une unité au cours d'un inventaire (P₁):

$$N = \frac{(I_1 + D + 1)(I_2 + D + 1) - 1}{(D + 1)}$$

$$s^2 = \frac{l_1 l_2 (l_1 + D + 1) (l_2 + D + 1)}{(D + 1)^2 (D + 2)}$$

$$P_1 = D / (D + l_2).$$

Deux conditions doivent être remplies pour pouvoir utiliser cette approche: il faut qu'il y ait indépendance entre les deux inventaires et il faut que toutes les unités possèdent une probabilité égale d'être observées au cours du même inventaire. Toutefois les simulations sur ordinateur faites par Magnusson *et al.* (1978) ont révélé que la deuxième condition n'était pas critique.

L'aire à l'étude était constituée de trois rectangles aux dimensions approximatives de 14 × 8 km, situés à environ 150 km au nord-ouest de Montréal, au centre du parc du Mont-Tremblant. Sur des cartes topographiques à l'échelle 1:50 000, on avait tracé à l'avance des lignes de vol parallèles, orientées nord-sud et distantes de 500 m. Les lignes étaient survolées en avion à deux reprises: lors d'un premier type d'inventaire, un seul observateur assis derrière le pilote rapportait au navigateur les orignaux qu'il voyait; lors d'un deuxième survol, deux observateurs (autres que celui du premier inventaire) et le navigateur tentaient de repérer les groupes d'orignaux. Dans ce dernier cas, toutefois, le navigateur passait la majeure partie de son temps à la navigation. On utilisait des cartes topographiques vierges pour chaque inventaire afin d'éviter tout biais; de plus, les observateurs n'avaient pas accès aux cartes. Dans un cas, le navigateur a participé au deuxième survol après avoir agi comme navigateur lors du premier inventaire: ceci ne peut avoir biaisé sensiblement les résultats de l'expérience vu l'utilisation de cartes vierges et la grande difficulté de se souvenir exactement où avaient été observés les orignaux lors du premier inventaire. En tout temps le pilote possédait sa propre carte topographique, ce qui facilitait de beaucoup le respect du plan de vol. Chaque rectangle était couvert l'avant-midi et l'après-midi de la même journée. Comme le comportement des orignaux les rend plus faciles à voir à certaines heures du jour (LeResche et Rausch, 1974; Crête et St-Hilaire, 1979, l'ordre dans lequel les deux inventaires étaient pratiqués fut tiré au hasard. L'inventaire avec un seul observateur eut lieu une fois le matin et deux fois l'après-midi.

L'avion, de type DeHavilland Beaver, volait à une vitesse d'environ 160 km/h. L'altitude moyenne de vol, déterminée à l'aide de l'altimètre de l'avion et des cartes

topographiques, était de 112 m ($s_{\bar{x}} = 16,8$; $n = 10$). La largeur de la bande d'observation, qui variait surtout en fonction de la densité de la végétation, mais aussi en fonction de l'altitude, fut estimée à l'aide d'un clinomètre et de l'altimètre. La largeur moyenne de la bande d'observation pour un observateur était de 129 m ($s_{\bar{x}} = 14,8$; $n = 16$). L'aire à l'étude, comprenant deux bandes d'observation, couvrait une superficie de 172 km².

Résultats et discussion

L'indépendance des deux survols constituait le point le plus critique de l'expérience. En effet, il est fréquent que les orignaux s'affolent au passage d'un avion à basse altitude et qu'ils fuient. On s'est toutefois rendu compte que la distance de fuite était très courte. La capacité pour le navigateur de localiser avec exactitude les groupes d'orignaux pour les reconnaître représentait la deuxième difficulté de la méthode. Cependant, la faible densité d'orignaux, la mobilité réduite des animaux et le nombre d'individus composant le groupe aidaient à reconnaître les groupes. C'est pourquoi 17 des 18 groupes observés ont pu être identifiés avec certitude. Dans le dernier cas, le navigateur a dû classer le groupe au meilleur de sa connaissance.

L'expérience a donné les résultats suivants: $l_1 = 3$; $l_2 = 10$; $D = 5$. Le nombre de groupes à l'intérieur de la région à l'étude aurait donc été de 23, et la variance de cette estimation de 17,1. La probabilité d'observer un groupe d'orignaux aurait été de 0,33 lors du survol avec un observateur et de 0,63, lors de l'autre type d'inventaire. Cinq groupes n'auraient pu être observés à aucun des deux inventaires: la vitesse de l'aéronef et la densité de la végétation expliquent ces dénombrements incomplets.

La densité de l'orignal est généralement exprimée en terme d'animaux par km² plutôt que de groupes par unité de surface. Pour comparer les présents résultats à ceux obtenus lorsque l'hélicoptère est utilisé pour le dénombrement total des animaux, il a fallu multiplier N par le nombre moyen d'orignaux par groupe. La taille moyenne des groupes d'orignaux en janvier, calculée lors d'inventaire aérien en hélicoptère, était de: Parc du Mont-Tremblant (1979), 2,5 ($n = 75$); Réserve La Vérendrye (1978), 2,4 ($n = 32$); Réserve La Vérendrye (1977), 2,2 ($n = 65$). Lors de l'inventaire rapportée ici, en prenant le

nombre le plus élevé lorsqu'un groupe était observé deux fois, on a obtenu une moyenne de 2,3 orignaux par groupe ($n = 28$; ce nombre comprend des groupes vus à l'extérieur de la région à l'étude lors des virages au bout des lignes). Toutes ces moyennes sont plus élevées que les estimations équivalentes calculées ailleurs en Amérique du Nord (Peek *et al.*, 1974; Rounds, 1978); cette différence pourrait être reliée à la reproduction souvent plus faible des orignaux du sud-ouest du Québec (Crête *et al.*, 1979). En retenant 2,4 comme moyenne puisque les dénombrements en hélicoptère sont plus complets que ceux en avion, la densité de l'original aurait été de 0,32 original par km^2 dans la région à l'étude. Or des inventaires aériens utilisant l'hélicoptère ont conduit à une estimation de densité de 0,39 original par km^2 pour une partie du parc du Mont-Tremblant située immédiatement au nord de la région à l'étude. En 1977 et 1978, on avait estimé la densité de l'original à 0,26 et 0,27 original par km^2 dans deux aires du sud de la réserve La Vérendrye. Ainsi une approche différente a conduit à une estimation de densité de l'original du même ordre de grandeur que les estimations obtenues lorsque l'hélicoptère sert au dénombrement. L'approche de Magnusson *et al.* (1978) est donc valable même pour une espèce animale mobile comme l'original; au Québec, la même technique pourrait probablement être appliquée avec succès à des espèces plus sédentaires, tel le castor (*Castor canadensis*).

Remerciements

Je veux d'abord remercier le personnel qui a participé à l'inventaire aérien, soit L. Breton, D. Paré et M. Poulin. Merci aussi au pilote J.-G. Lejeune dont l'habileté et l'expérience ont grandement contribué au succès du projet. Mes remerciements s'adressent enfin à D. Patry, qui a dactylographié le manuscrit, et à R. Joly et P. Dumont qui ont revu le texte original.

Références

- CRÊTE, M. et D. ST-HILAIRE, 1979. L'hélicoptère et l'avion pour dénombrer les orignaux dans le sud-ouest du Québec. — *Naturaliste can.*, 106 (sous presse).
- CRÊTE, M., R. J. TAYLOR and P. A. JORDAN, 1979. Optimization of moose harvest in southwestern Québec. — *J. Wildl. Mgmt.* (soumis).
- LERESCHE, R. E. and R. A. RAUSCH, 1974. Accuracy and precision of aerial moose censusing. — *J. Wildl. Mgmt.*, 38(2): 175-182.
- MAGNUSSON, W. E., G. J. CAUGHLEY and G. C. GRIGG, 1978. A double-survey estimate of population size from incomplete counts. — *J. Wildl. Mgmt.*, 42(1): 174-176.
- PEEK, J. M., R. E. LERESCHE and D. R. STEVENS, 1974. Dynamics of moose aggregations in Alaska, Minnesota, and Montana. — *J. Mammal.*, 55(1): 126-137.
- PROULX, G., 1978. Sur les caractéristiques des peuplements forestiers utilisés en hiver par l'original (*Alces alces americana*) dans le parc de La Vérendrye. — Thèse de M.Sc., Univ. du Québec, Montréal, 91 p.
- ROUNDS, R. C., 1978. Grouping characteristics of moose (*Alces alces*) in Riding Mountain National Park, Manitoba. — *Can. Fld Nat.*, 92(3): 223-227.

REVUE DES LIVRES

FAIRBRIDGE, R. W. et J. BOURGEOIS, éditeurs, 1978. **The encyclopedia of sedimentology.** Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania (distribué par Academic Press, New York). xvi + 901 p., 512 fig., 75 tabl., index. 18 × 26 cm. Relié, \$65,00.

Le volume 6 de la série des grandes encyclopédies consacrées aux sciences de la Terre, *Encyclopedia of earth science series*, vient de sortir des presses après une longue gestation. Il est consacré à la sédimentologie, une des branches de la géologie qui a connu, depuis deux décennies, une expansion considérable et dont l'intérêt se révèle fondamental, en particulier dans les études sur l'environnement.

L'usage du mot *sedimentology* introduit par Trowbridge, en 1925, prévaut partout aujourd'hui. Ce vocable englobe tous les aspects des sédiments meubles et consolidés, récents et anciens, y compris les processus de formation, de transport, de mise en place et de diagenèse. Les roches sédimentaires couvrant environ 75% de la surface de la Terre et recélant, par endroits, des richesses considérables (hydrocarbures, charbon, diamants, minéraux, etc), on comprend aisément l'importance du sujet.

L'ouvrage ressemble aux précédents. Il contient environ 300 termes, expressions ou sujets qui sont traités généralement d'une façon concise, par des spécialistes souvent de renommée internationale. Tous les textes sont accompagnés d'une courte bibliographie et d'une liste de mots clés-synonymes (*cross-references*) permettant au lecteur de compléter son information. Près de 200 auteurs, répartis dans une vingtaine de pays, ont collaboré à l'ouvrage. On devine facilement la complexité de réunir une quantité aussi considérable de textes.

Compte tenu de la nature de l'ouvrage, plusieurs sujets sont traités avec satisfaction et parfois avec maîtrise. Par contre, un certain nombre de textes appelle des réserves. Quelques-uns se révèlent insuffisamment informés et d'autres ne couvrent que certains aspects; ce qui laisse penser que certains auteurs n'étaient pas forcément les plus autorisés. C'est regrettable, mais quasi inévitable dans une entreprise aussi ambitieuse. On doit comprendre, par ailleurs, qu'il existe nécessairement un délai appréciable entre la rédaction d'un texte et sa parution. Comme cette encyclopédie est en préparation depuis plus de dix ans, plusieurs textes ne tiennent malheureusement pas compte des acquisitions récentes. Pour satisfaire pleinement l'utilisateur, il aurait fallu doubler le nombre des sujets et produire deux volumes. Les éditeurs ont préféré inclure dans

dans le volume 15 intitulé *Beaches and coastal environments*, plusieurs sujets relevant pourtant de la sédimentologie. Il faudra donc attendre la parution de ces derniers pour trouver son dû.

Dans son ensemble, l'ouvrage est bien fait, assez abondamment illustré, de bonne qualité et de consultation facile. La somme considérable de travail requise pour un tel ouvrage fait honneur aux éditeurs et témoigne d'un souci d'excellence qu'il convient de souligner. Est-il nécessaire de répéter l'utilité d'ouvrages de cette nature? Ce sont des outils de première valeur que tout professionnel devrait posséder. Les 24 volumes prévus dans la collection constitueront une des meilleures sources d'information à la disposition des scientifiques et des enseignants. L'envergure du projet nécessitera, toutefois, deux décennies sinon davantage. Souhaitons que les écarts chronologiques n'altèrent pas la valeur de ces guides précieux qui constituent un excellent exemple de collaboration. Malgré son prix élevé et ses lacunes, on ne peut que recommander fortement l'*Encyclopedia of sedimentology* et en souhaiter une très large diffusion.

Jean-Claude DIONNE

Environnement Québec
Québec

SOURNIA, A., éditeur, 1978. **Phytoplankton manual.** Renouf Publishing Company, Montreal. XVI + 337 p., 54 fig., 16 tabl. 15,5 × 24,5 cm. Relié, \$20,50.

En écologie marine ou d'eau douce, l'écologiste est souvent appelé à travailler sur des populations d'organismes phytoplanctoniques. Leur étude requiert l'utilisation de nombreuses méthodes ayant trait autant à l'échantillonnage qu'à l'analyse statistique des observations. Pour entreprendre de tels projets, il faut donc posséder une bonne connaissance des méthodes existantes et savoir les utiliser d'une façon adéquate. Il n'existait, jusqu'à présent, aucun manuel traitant de la méthodologie d'échantillonnage ainsi que de la dynamique des populations phytoplanctoniques. Le volume édité par Alain Sournia se veut donc un outil répondant aux fins de ce genre d'étude.

Le volume est divisé en neuf chapitres. Au premier, l'auteur met en évidence l'importance des populations planctoniques comme principale source de productivité des océans. Le chapitre suivant a trait à la stratégie d'échantillonnage requise pour entreprendre une étude de la dynamique des populations phytoplanctoniques. Selon

les problèmes à étudier, l'échantillonnage doit être fait de façon à augmenter l'information contenue dans chaque échantillon et à réduire la variance qu'entraîne l'échantillonnage lui-même. Les problèmes discutés dans les trois chapitres subséquents sont d'ordre beaucoup plus technique et portent sur les différentes méthodes d'échantillonnage, de conservation et de préparation des échantillons pour le comptage. Chaque technique est décrite de façon à présenter ses avantages et ses inconvénients, de sorte que le lecteur peut facilement choisir celle qui satisfait les exigences de ses travaux. Plusieurs photos et schémas facilitent la compréhension des appareils décrits. De nombreux exemples numériques permettent de saisir les statistiques du sous-échantillonnage. Le chapitre 6 aborde les problèmes d'identification faisant référence à de nombreux travaux tandis que le chapitre 7 présente les différentes méthodes de comptage; la précision des techniques de comptage est également discutée en tenant compte des différents tests statistiques pour l'estimer. Le chapitre 8 traite de l'interprétation des observations et des considérations statistiques. Des méthodes d'analyse tel le calcul des indices de diversité et d'association sont présentées. Enfin, le chapitre 9 peut être considéré comme une annexe puisqu'il traite de sujets connexes au

phytoplancton: le bactérioplancton et le microzooplancton. Il est intéressant de noter que nous retrouvons à la fin du volume, une liste des adresses des compagnies qui fabriquent les appareils décrits dans ce volume.

Ce travail s'adresse à tout ceux qui s'intéressent à l'étude des populations planctoniques, autant étudiants que chercheurs. Il comble une grande lacune au niveau de la méthodologie pour ce genre d'étude.

Serge DEMERS

*GIROQ, Département de biologie
Université Laval, Québec*

LIVRE REÇU

ODINGO, R. S., éditeur, 1979. **An African dam.** Ecological survey of the Kamburu/Gtaru hydroelectric dam area, Kenya. *Ecological bulletins*, n° 29. Swedish natural science research council, Stockholm. 182 p. 16,5 × 24 cm. Broché, U.S. \$10,00.

DIRECTIVES AUX AUTEURS

ORIENTATION DE LA REVUE

On peut soumettre au *Naturaliste canadien* des *articles inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée, de la taxonomie, de la morphologie ou des sciences de la terre. Tout manuscrit sera jugé en fonction de l'originalité des résultats et de l'interprétation. Les revues thématiques ne seront acceptées que si elles donnent lieu à d'importantes généralisations scientifiques. Des *articles courts* (maximum de quatre pages dans la revue) peuvent être acceptés comme "Communications brèves" s'ils découlent d'une recherche de qualité.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à double interligne sur le recto de feuilles de 21.5 X 28 cm, seront expédiés en trois exemplaires au Secrétaire de la rédaction.

Les éléments du manuscrit sont les suivants : (1) le titre ; (2) le nom de l'auteur ; (3) le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur ; (4) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces (sur une page séparée) ; (5) les résumés français et anglais (maximum de 300 mots) ; (6) le texte ; (7) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains), les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes) et les références bibliographiques.

TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant : 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 infra-marginales devront être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement ; (3) pour les unités de mesure, on utilisera de préférence le système métrique, (4) on évitera les appendices, et d'ailleurs la Direction de la revue ne s'engage pas à en publier plus d'une page.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles seront indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles seront citées

par ordre alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant des exemples suivants :

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5) : 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In : D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Les titres des périodiques devront être abrégés suivant la "World List of Scientific Periodicals" (édition de 1963).

ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à deux clichés par manuscrit ; tous les clichés additionnels seront à la charge de l'auteur.

Les photographies devront être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupera, 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 de photographies sont requises.

Les dessins doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage devra 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 x 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.

ÉPREUVES ET TIRAGES-À-PART

Les auteurs recevront une série d'épreuves, en même temps qu'un bon de commande pour les tirages-à-part. L'un et l'autre devront être retournés dans les plus brefs délais.

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

EDITORIAL POLICY

Original papers in French or in English based on research in basic and applied ecology, taxonomy, morphology and earth sciences will be considered for publication in this journal. The papers will be judged on the basis of their contribution of original data and ideas or interpretation. *Review articles* will not be accepted unless they lead to new and important generalizations. *Short articles* (no more than four pages in the journal) may be accepted as "Communications brèves". They should be distinguished from papers on the basis of scope rather than quality of the research.

GENERAL PRACTICES

Manuscripts should be typewritten in double spacing throughout on one side of bond paper 21.5 x 28 cm, and submitted in triplicate to the Secretary of the Editorial Board.

The sequence of material in the manuscript as submitted should be: (1) title; (2) author's name; (3) author's affiliation and address; (4) a condensed running head of no more than 60 letters and spaces (on a separate page); (5) French and English abstracts limited to 300 words; (6) the manuscript proper; (7) on separate pages references, tables (numbered consecutively in Roman numerals) and figure legends (numbered consecutively in Arabic numerals).

MANUSCRIPT DETAILS

The arrangement of the contents should generally be as follows: Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, and References.

In preparing copy please take account of the following remarks: (1) underscore only where italics are intended; (2) footnotes are to be avoided and wherever impossible they should be consecutively numbered; (3) either metric or English units may be used; however use of the former is recommended; (4) appendixes should be avoided and will not be usually accepted if exceeding one page.

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:

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5): 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. *In*: D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Abbreviations for periodicals should follow the "World List of Scientific Periodicals" (1963 edition).

ILLUSTRATIONS

The first two 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 card-board, and clearly numbered at the right corner of each photograph. Three complete sets of photographs must be included.

Drawings are 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 x 20 cm, inclusive of captions.

Captions for illustrations should be typed in paragraph form on a separate page. Moreover each illustration should be clearly labelled on back, giving the name of the author and the figure number.

PROOFS AND REPRINTS

Galley proofs will be sent to the author together with an order blank for reprints. The corrected proof with the order for reprints should be returned immediately.

Vente à prix réduit
de collections d'anciens volumes du
NATURALISTE CANADIEN

Les Presses de l'Université Laval sont dans l'obligation de libérer leurs entrepôts de certains surplus de revues. La direction du *Naturaliste canadien* met donc en vente, à prix réduits, des collections d'anciens volumes de la revue, durant une courte période, au tarif suivant:

Volume 60 (1933) à 92 (1965), \$8.00 le volume.

Volume 93 (1966) à 104 (1977), \$10.00 le volume.

Le volume 101 (1974) est épuisé.

Trois collections d'anciens numéros de 1868 à 1891 (volumes 1 à 20), de la période de Provancher, et de 1894 à 1932 (volumes 21 à 59), de la période de Huard, sont disponibles. Prix sur demande.

Secrétariat de la rédaction
« Le Naturaliste canadien »
Université Laval
Québec. G1K 7P4

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Juillet-août 1979

Numéro 4

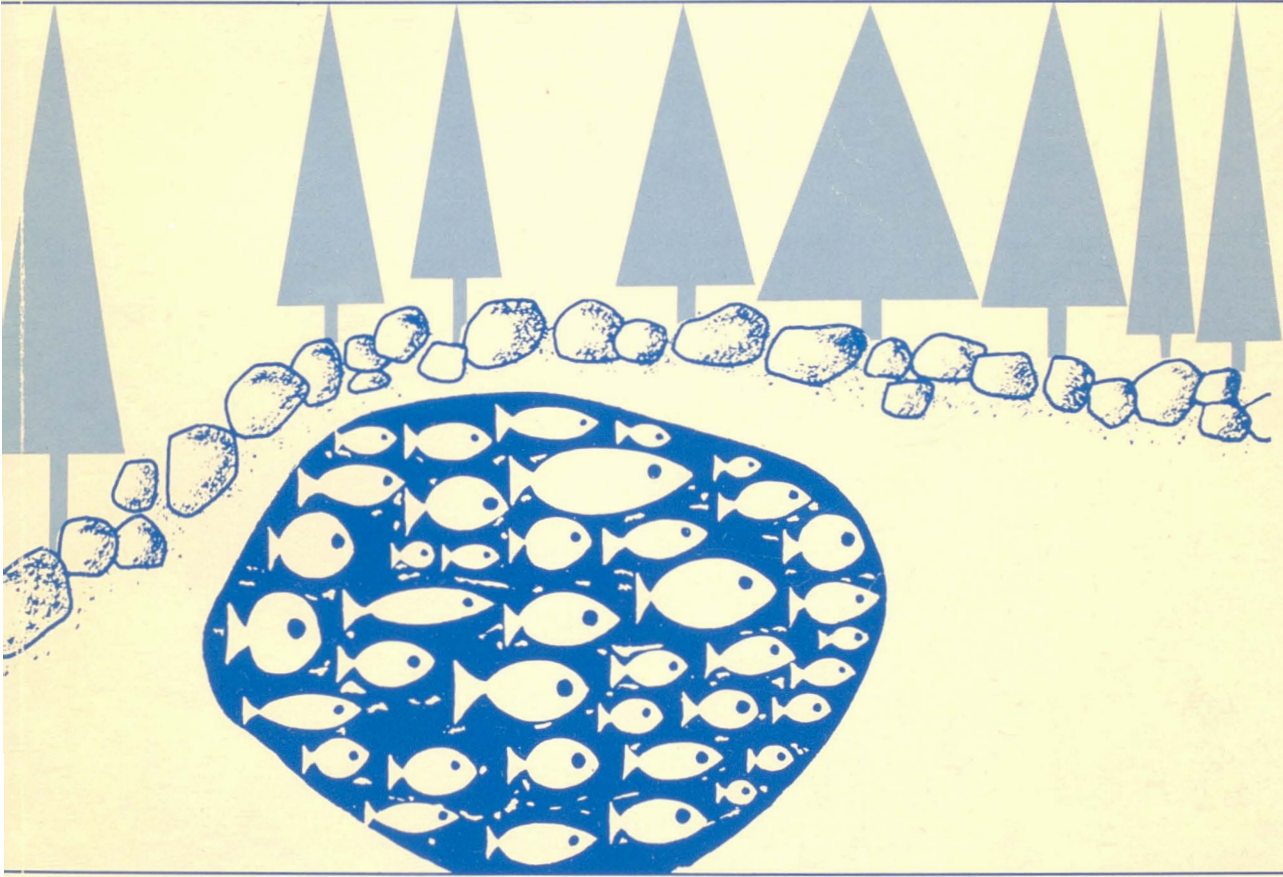
SOMMAIRE

HENDERSON, G., P.G. HOLLAND and G.L. WERREN. The natural history of a subarctic adventive: <i>Epilobium angustifolium</i> L. (Onagraceæ) at Schefferville, Québec	425-437
CODY, William J., George W. SCOTTER and Stephen S. TALBOT. Additions to the vascular plant flora of Nahanni National Park, Northwest Territories ..	439-450
GERVAIS, Camille. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique.	451-461
BERTRAND, Jean F. et Paul GERVAIS. Évolution du rendement et de la composition chimique de la luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.) avec l'âge	463-470
MOUSSEAU, Pierre. Faune ichtyologique des eaux intérieures des îles de la Madeleine	471-479
CRÊTE, Michel. Estimation de la densité d'originaux au moyen d'inventaires aériens incomplets	481-483
REVUE DES LIVRES	485-486

Volume 106,
numéro 5-6
septembre-décembre 1979

le naturaliste canadien

revue d'écologie et de systématique



Fondé en 1868
par l'abbé L. Provancher

INSTITUT
DU MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET
DES RESSOURCES DU QUÉBEC

Les Presses de l'Université Laval

LE NATURALISTE CANADIEN

CN ISSN 0028-0798

DIRECTEUR

G.-WILFRID CORRIVAUT (jusqu'au 1^{er} juin 1979)

GUY LACROIX (depuis le 1^{er} novembre 1979)

DIRECTEUR-ADJOINT

MIROSLAV GRANDTNER (jusqu'au 31 décembre 1979)

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

PIERRE MORISSET

COMITÉ DE RÉDACTION

RENÉ BÉLAND, *Université Laval*

RENÉ BÉIQUE, *Direction générale de la conservation, Ministère des terres et forêts, Québec*

JULIEN BERGERON, *Ministère de l'industrie et du commerce, Québec*

BERNARD BERNIER, *Université Laval*

PAUL BERTHET, *Faculté des sciences de Lyon*

PIERRE COUILLARD, *Université de Montréal*

MICHEL DELSOL, *Faculté catholique de Lyon*

LLOYD M. DICKIE, *Institut d'océanographie, Université Dalhousie, Halifax*

ANDRÉ GAGNON, *Université Laval*

PAUL GERVAIS, *Université Laval*

ROGER HEIM, *Muséum national d'histoire naturelle de Paris*

WILLIAM S. HOAR, *Université de la Colombie-Britannique*

ROBERT LAGUEUX, *Université Laval*

VICTORIN LAVOIE, *Université Laval*

ERNEST LEPAGE, *Saint-Simon, Rimouski*

TREVOR PLATT, *Laboratoire d'écologie marine, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, N. E.*

GASTON MOISAN, *Service de la faune du Québec*

W.E. RICKER, *Office des recherches sur les pêcheries du Canada*

D. M. ROSS, *Université d'Alberta*

HENRI TINTANT, *Faculté des sciences de Dijon*

ADMINISTRATION (abonnements, changements d'adresse, droits de reproduction):

Les Presses de l'Université Laval, Case postale 2447, Québec G1K 7R4

Abonnement annuel

personnel: \$17.00

— collectif: \$34.00

— le numéro: \$4.00

Étranger: \$19.00

(multi-user)

— numéros spéciaux: \$10.00

Publication bimestrielle de l'Université Laval, LE NATURALISTE CANADIEN accepte des **articles inédits**, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée (agronomique, forestière), de la systématique, de la morphologie ou des sciences de la terre.

De brèves **communications scientifiques** seront acceptées pour publication rapide. Elles ne devront pas excéder 1,500 mots, titre et bibliographie compris.

Les **manuscrits** doivent être adressés au **Secrétariat de la rédaction**, LE NATURALISTE CANADIEN, Département de biologie, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec G1K 7P4, Québec.

LE NATURALISTE CANADIEN est publié avec l'aide du Conseil national de recherches du Canada et du Ministère de l'éducation du Québec.

Répertorié dans Current Contents, Biological Abstracts et Périodex.

Courrier de la deuxième classe — Enregistrement no 1768

Dépôt légal — Troisième trimestre 1979. Bibliothèque nationale du Québec — Bibliothèque nationale d'Ottawa.

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Septembre-décembre 1979

Numéros 5-6

L'HÉLICOPTÈRE ET L'AVION POUR DÉNOMBRER LES ORIGNAUX DANS LE SUD-OUEST DU QUÉBEC

Michel CRÊTE et Daniel ST-HILAIRE

*Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche,
13, rue Buteau, Hull, Québec, J8Z 1V4*

Résumé

On a utilisé l'avion et l'hélicoptère pour dénombrier les orignaux dans le sud-ouest du Québec entre 1976 et 1979. Les inventaires aériens avaient lieu au cours des trois premières semaines de janvier, dans les jours suivant une chute de neige d'au moins 5 cm. Une équipe à bord d'un avion cartographiait d'abord les réseaux de pistes récentes et anciennes d'orignaux. Une équipe à bord d'un hélicoptère survolait ensuite les réseaux de pistes pour dénombrier les orignaux (petits de l'année et adultes) et déterminer le sexe des adultes. La technique a permis de réduire sensiblement la variabilité des densités estimées. On a trouvé une relation linéaire significative entre le nombre d'orignaux observés par l'équipe de l'avion et la densité calculée par l'équipe de l'hélicoptère; la valeur prédictive de la régression s'améliorait beaucoup lorsqu'on intégrait au modèle l'importance des peuplements forestiers ouverts et l'aire occupée par les réseaux de pistes d'orignaux. On a conclu qu'on pouvait utiliser seulement l'avion pour prédire la densité de l'original.

Abstract

Aerial censuses of moose were carried out from an airplane and a helicopter in southwestern Québec between 1976 et 1979. Aerial counts were made during the first three weeks of January within a few days after a snowfall of at least 5 cm. A crew in a fixed-wing aircraft first mapped networks of fresh and old moose tracks. Another crew in a helicopter flew over track networks for counting moose (calves and adults) and for sexing adults. The technique reduced variability of moose density estimates. A significant linear relationship was found between number of moose seen by the crew in the aircraft and densities computed by the crew in the helicopter; the predictive value of the regression was improved by adding importance of open forest stands and area covered by track networks into the model. It was concluded that a fixed-wing aircraft was adequate for predicting moose density.

Introduction

En Amérique du Nord, le dénombrement des orignaux (*Alces alces*) s'est traditionnellement fait en hiver à l'aide d'avions monomoteurs. Cette méthode d'estimation est imprécise et ne peut servir qu'à déceler les grandes tendances de l'évolution des populations d'orignaux (Timmermann, 1974). L'imprécision provient: 1) d'un ensemble de facteurs contribuant à accorder aux observateurs trop peu de temps pour dénombrier tous les orignaux: vitesse de l'aéronef, altitude, couvert végétal, conditions d'enneigement et relief (Caughley, 1974; Caughley et

al., 1976; LeResche & Rausch, 1974); 2) du degré d'expérience des observateurs (Caughley et *al.*, 1976; LeResche & Rausch, 1974); 3) du comportement des orignaux, qui sont plus faciles à voir du haut des airs au début de l'hiver qu'à la fin (DesMeules, 1965; Bergerud & Manuel, 1969; Lynch, 1975).

L'utilisation combinée de l'avion et de l'hélicoptère, lequel permet un très grand temps d'observation par unité de surface, des observateurs expérimentés et la conduite des inventaires au début de l'hiver dans les jours suivant une chute de neige, laissaient voir la possibilité de réduire sen-

siblement la variabilité des estimations de densité de l'original. Le but de cette publication est de démontrer que la standardisation des conditions d'inventaire a permis de réduire cette variabilité de sorte que des relations sont apparues entre les observations faites de l'avion et de l'hélicoptère.

Région à l'étude

La région d'étude est située à environ 200 km au nord-ouest de Montréal et couvre en tout ou en partie quatre zones de chasse, un parc et une réserve (fig. 1). L'altitude varie entre 250 et 650 m dans cette partie du Plateau Laurentien au relief ondulé. Les précipitations annuelles passent de 900 mm de pluie dans l'ouest de l'aire d'étude à 1 000 mm dans l'est; environ 30 pour cent des précipitations tombent sous forme de neige (Ferland & Gagnon, 1967).

Des forêts mélangées contenant des essences feuillues tolérant l'ombre [surtout le

bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) et l'érable à sucre (*Acer saccharum*)] occupent souvent le sommet et la partie supérieure des collines; le bas des versants et les terrains plats sont surtout couverts de forêts mélangées contenant des essences feuillues intolérantes à l'ombre [principalement le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*)] Les feux de forêts qui étaient historiquement plus fréquents dans la deuxième catégorie de peuplements expliquent en grande partie la distribution des deux communautés végétales dominantes (Crête, 1977). Les conifères les plus importants, le sapin baumier (*Abies balsamea*) et les épinettes (*Picea glauca* et *Picea mariana*), ont été affectés par la tordeuse du bourgeon de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) de façon parfois très sévère. L'érable à épis (*Acer spicatum*) et le noisetier à long bec (*Corylus cornuta*) constituent les arbustes les plus abondants et les plus importants pour l'original. La région à l'étude s'insère

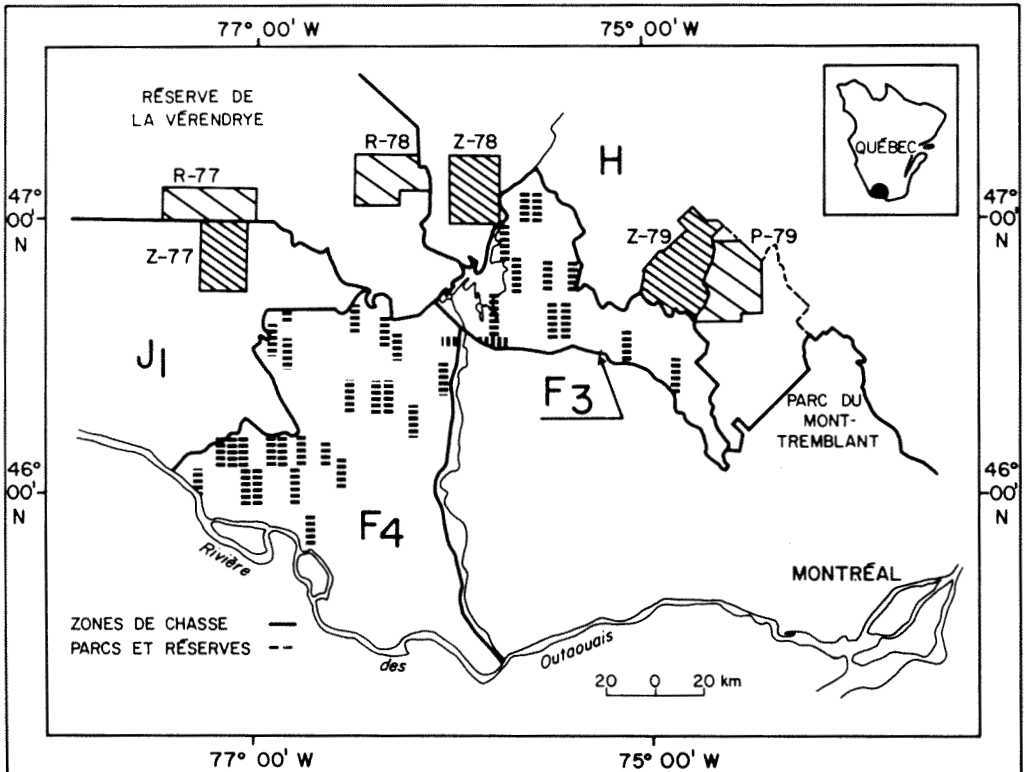


Figure 1. Localisation de la région d'étude. Les traits hachurés verticaux montrent la localisation des places-échantillon couvertes en 1976 dans les zones de chasse F3 et F4. Les traits hachurés obliques indiquent les aires inventoriées au cours des trois années suivantes. Z, R et P signifient respectivement zone de chasse, réserve et parc, et le nombre qui les suit indique l'année d'exécution.

dans la zone forestière 2 de Brassard *et al.* (1974).

L'original abondait partout dans l'aire d'étude, sauf dans le sud des zones de chasse F3 et F4 où l'habitat est moins convenable. On tenait une saison de chasse de l'original partout; la pression de chasse était toutefois beaucoup plus faible dans le parc du Mont-Tremblant et la réserve La Vérendrye, où l'on contingente le nombre de chasseurs (Bouchard & Moisan, 1974), que dans les zones de chasse où la réglementation était libérale.

Méthode

L'aire inventoriée était d'abord survolée par une équipe à bord d'un avion de type DeHavilland Beaver où prenaient place deux observateurs et un navigateur. Le plan de vol était tracé à l'avance sur des cartes topographiques à l'échelle 1:50 000 et était constitué de lignes parallèles distantes de 500 m. Les lignes de vol étaient orientées nord-sud pour minimiser l'éblouissement des observateurs par le soleil. Le pilote possédait généralement sa copie du plan de vol, ce qui en facilitait le respect. L'avion volait à une vitesse moyenne de 162 km/h ($s_x = 2,6$; $n = 27$) et à une hauteur moyenne de 113 m ($s_x = 5$; $n = 61$) au-dessus du sol. Les observateurs, placés derrière le pilote et le navigateur, rapportaient les pistes fraîches et anciennes d'originaux qu'ils voyaient dans la neige; le navigateur indiquait sur les cartes ces observations à l'aide de symboles appropriés (Comité de coordination des inventaires, 1973). Le navigateur encerclait tous les réseaux de pistes récents ou anciens pour faciliter la lecture des cartes. Les observateurs faisaient aussi part du nombre d'originaux qu'ils voyaient; les observations d'originaux faites exclusivement par le pilote ou le navigateur n'étaient pas indiquées sur les cartes. Le navigateur notait aussi la date et l'heure au début et à la fin de chaque ligne de vol.

Les cartes topographiques étaient ensuite confiées à une équipe à bord d'un hélicoptère Bell 206B où l'on retrouvait un navigateur-observateur assis près du pilote et un observateur placé derrière ce dernier. L'hélicoptère survolait les réseaux de pistes fraîches et anciennes dans les 24 heures suivant le passage de l'avion pour dénombrer les originaux. De plus, le sexe des adultes était déterminé à l'aide de la tache vulvaire (Roussel, 1975) et des bois; la taille

des originaux permettait enfin de distinguer les petits de l'année des adultes. L'hélicoptère décrivait d'abord des cercles au-dessus des réseaux de pistes à une altitude d'environ 125 m jusqu'à ce que les traces les plus récentes soient localisées. L'appareil descendait alors à environ 25 m au-dessus des réseaux de pistes fraîches pour repérer les originaux. Lorsque le dénombrement et les observations étaient terminés, l'hélicoptère décrivait à nouveau quelques cercles pour s'assurer qu'aucun original n'avait été oublié. Le temps passé au-dessus de chaque réseau de pistes était noté.

Le dénombrement aérien avait lieu entre le début de janvier et le 25 du même mois. Sauf pour la dernière année, l'inventaire se limitait aux trois jours suivant une chute de neige d'au moins 5 cm, ce qui facilitait la localisation des pistes les plus récentes (Bergerud & Manuel, 1969; Novak & Gardner, 1975). En 1979, l'inventaire a été prolongé une fois jusqu'à six jours après la dernière précipitation de neige. L'inventaire aérien se déroulait entre 9h30 et 15h45; les conditions de luminosité devaient permettre de distinguer facilement les traces de pas dans la neige. Le pilote jugeait si le vent et les perturbations dépassaient la marge de sécurité.

En 1976, l'inventaire aérien couvrait les zones de chasse F3 et F4; celles-ci avaient été subdivisées en strate à densité élevée et strate à densité faible à partir d'inventaires aériens antérieurs visant à cartographier les aires d'hivernage des cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus borealis*). La densité estimée était calculée à l'aide d'un échantillonnage aléatoire sans remise avec une allocation optimale des places-échantillons. Il y avait 28 places-échantillons dans la strate à densité élevée et 8 dans l'autre strate. Les places-échantillons étaient rectangulaires et possédaient des côtés de 1,5 et 14 km. Pendant les trois années suivantes, les dénombrements aériens se faisaient dans le cadre d'une étude sur la dynamique des populations d'originaux et le protocole expérimental était toujours le même. Au cours d'un même hiver, l'inventaire aérien couvrait en entier deux aires adjacentes occupant environ 500 km² chacune, situées d'une part dans une zone de chasse et d'autre part dans le parc ou la réserve (fig. 1). Des cartes forestières modifiées pour fin d'étude de l'habitat de l'original étaient disponibles pour les superficies ainsi inventoriées.

La cartographie des localisations d'originaux obtenues par l'équipe de l'hélicoptère au cours des trois dernières années a servi à calculer la superficie qui convenait le mieux aux places-échantillons lorsque l'estimation de densité était obtenue par échantillonnage. On plaçait au hasard 25 parcelles rectangulaires de 2, 10, 20, 40, 60 et 80 km² sur les cartes topographiques et l'on dénombrait les originaux à l'intérieur de chacune; on considérait séparément les zones de chasse du parc et de la réserve. Le calcul de la précision nette relative (Cochran, 1977, p. 234) servait de critère de sélection.

Neuf personnes différentes ont participé aux inventaires qui furent répartis sur quatre hivers; le second auteur a toujours été présent pour assurer l'uniformité de la prise des données.

Résultats et discussion

EFFICACITÉ DE LA TECHNIQUE

Les densités d'originaux ont montré une variabilité assez faible, surtout lorsqu'on distinguait les zones de chasse du parc et de la réserve (tableau I). En fait, la pression de chasse, qui était inversement reliée ($P < 0,01$) aux différents niveaux de densité observés (Crête, Taylor & Jordan, données non publiées), explique en très grande partie les variations de l'abondance de l'original ($R^2 = 0,99$). L'hélicoptère s'est montré un aéronef très efficace pour l'inventaire des originaux; on a déterminé le sexe d'environ 98 pour cent des adultes, on a classé tous les individus comme petits de l'année ou adultes, et l'on pense avoir localisé la grande majorité des originaux. D'ailleurs, une approche différente a conduit à une densité estimée du même ordre de grandeur dans le parc du Mont-Tremblant (Crête, 1979).

Les inventaires aériens ont toujours eu lieu au cours des trois premières semaines de janvier, mais les conditions d'enneigement étaient variables; la neige au sol était la moins épaisse en 1976 et la plus abondante en 1979. Lors de cette dernière année, les conditions d'enneigement avaient sensiblement diminué la mobilité et la visibilité des originaux à la fin de l'inventaire et une chute additionnelle de neige en aurait forcé l'abandon.

Les recommandations de Bergerud et Manuel (1969) et de Novak et Gardner (1975) de limiter les dénombrements aériens de l'original respectivement à quelques heures

et à trois jours suivant une chute de neige ne peuvent s'appliquer intégralement dans le sud-ouest du Québec. Nous suggérons plutôt de tenir compte de la densité prévue. Ainsi, lorsque la neige au sol en forêts mélangées atteint 25 à 70 cm, l'inventaire pourrait se poursuivre pendant quatre jours après une chute de neige (au moins 5 cm) si la densité prévue dépasse 0,2 original/km²; par contre, si la densité est inférieure à ce niveau, l'inventaire pourrait se prolonger pendant cinq jours après la dernière précipitation. Par ailleurs, lorsqu'il y a entre 70 et 90 cm de neige au sol, l'inventaire aérien pourrait être mené au cours des cinq ou sept jours suivant la dernière chute de neige selon que la densité prévue dépasse ou non 0,2 original par km². Au delà de 90 cm de neige au sol, on devrait cesser tout inventaire. Ces recommandations sont subjectives jusqu'à un certain point et le responsable de l'inventaire peut décider d'en abrégier la durée si le comportement des originaux est inhabituel et qu'il devient très difficile de les voir du haut des airs.

Il a fallu en moyenne près de 3h de vol chacun, à l'hélicoptère et à l'avion, pour inventorier 100 km². Le temps nécessaire à l'avion était indépendant de la densité d'originaux; pour l'hélicoptère, le temps de vol était partiellement fonction de la densité, mais il dépendait aussi de facteurs tels le couvert végétal et l'aire occupée par les réseaux de pistes. Le temps de recherche déployé par l'hélicoptère au-dessus des réseaux de pistes était fort variable et dépendait surtout de la mobilité des originaux. Le temps de recherche par km² était en général supérieur au temps rapporté par LeResche et Rausch (1974) pour une expérience où un seul observateur expérimenté à bord d'un avion monomoteur Piper PA-18-150 dénombrerait 68 pour cent des originaux présents dans des enclos à Kenai (Alaska). Un temps de recherche plus grand, un aéronef de loin supérieur, une densité plus faible, un observateur additionnel (sans compter le pilote) et des conditions d'enneigement meilleures suggèrent que le taux de localisation des originaux était plus élevé lors des inventaires rapportés ici; seul le couvert végétal qui était moins dense sur la péninsule de Kenai y avantagait l'observation des originaux.

PLAN DE SONDAGE

Le calcul de la précision nette relative, pour lequel on avait fait abstraction des

TABLEAU I

Sommaire des résultats de l'inventaire aérien selon les régions à l'étude

Région	Densité (originaux/ km ²)	Sexe déterminé ¹ (%)	Date		Neige au sol (cm)		Aire occupée par les réseaux de piste (%)	Temps de recherche ² (min/km ²)	Superficie (km ²)
			début	fin	début	fin			
F3-F4									
densité élevée	0,17	96 (80) ³	76-01-06	76-01-23	30	53	19	4,5	546
densité faible	0,07	100 (16)	76-01-06	76-01-23	30	53	2	30,1	168
Z-77 ⁴	0,12	98 (54)	77-01-06	77-01-18	48	69	46	2,2	532
Z-78	0,11	100 (42)	78-01-04	78-01-20	53	77	7	8,0	531
Z-79	0,06	97 (37)	79-01-04	79-01-20	77	92	9	6,0	669
R-77	0,26	98 (125)	77-01-06	77-01-18	48	69	51	2,2	532
R-78	0,27	97 (66)	78-01-04	78-01-20	53	77	19	8,6	289
P-79	0,39	98 (173)	79-01-04	79-01-20	77	92	10	13,3	471

¹ Par l'hélicoptère.² Par l'hélicoptère au-dessus des réseaux de piste seulement.³ La taille de l'échantillon est précisée entre parenthèses.⁴ Z, R et P signifient respectivement zone de chasse, réserve et parc, et le nombre qui les suit indique l'année d'exécution.

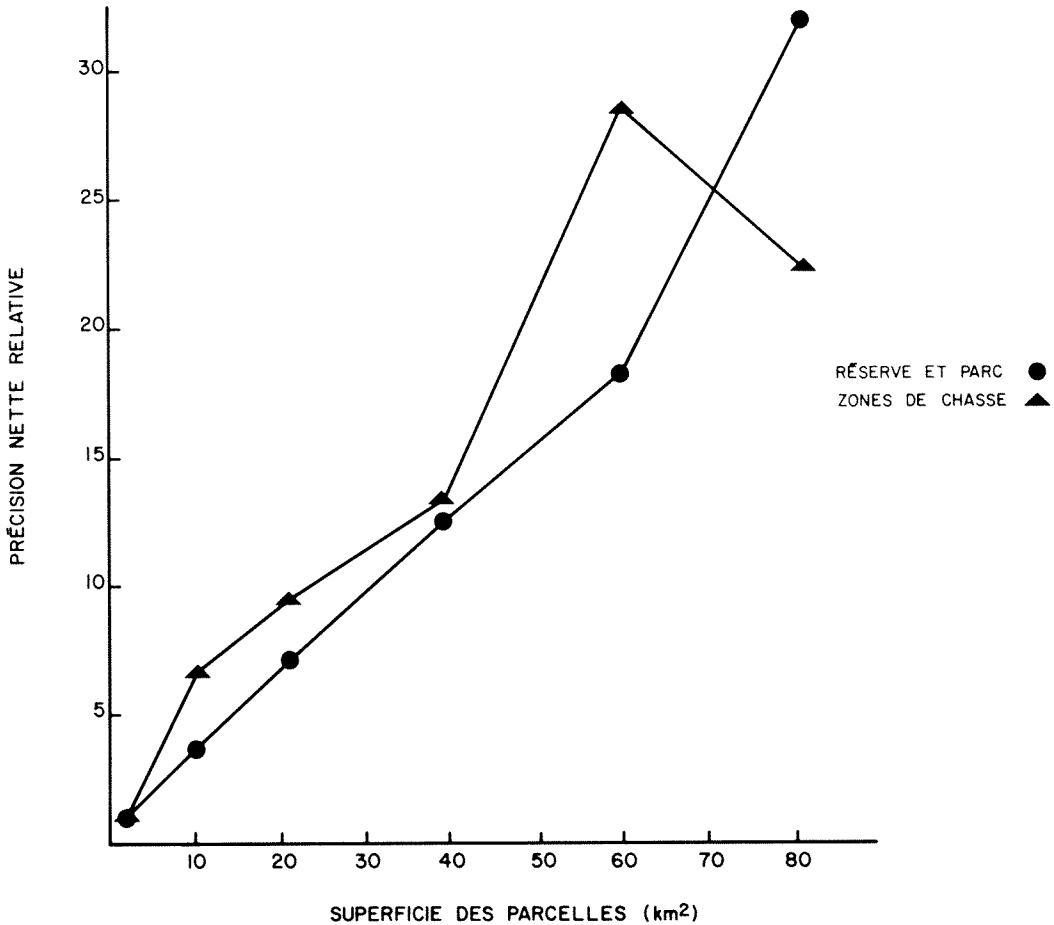


Figure 2. Précision nette relative calculée pour des places-échantillons de diverses tailles à partir des localisations d'originaux faites dans les zones de chasse d'une part, et le parc et la réserve d'autre part. La précision la plus faible a été ramenée à 1.

coûts, a révélé que l'agrandissement des parcelles était avantageux (fig. 2). Pour les zones de chasse, les places-échantillons de 60 km² possédaient la superficie idéale alors que la superficie optimale couvrirait au moins 80 km² pour le parc et la réserve. Toutefois cette différence est probablement attribuable au hasard. Les coûts qui sont surtout liés au temps de navette entre les parcelles et aux virages au bout des lignes supportent encore davantage le choix de grandes places-échantillons. Compte tenu de ces résultats et du fait que notre agence utilise déjà des parcelles de 60 km², il est souhaitable de retenir cette superficie à l'avenir; de plus, pour minimiser le périmètre des parcelles, celles-ci devraient avoir des dimensions de 6 × 10 km. Avec une telle superficie, il est possible à l'avion de couvrir en moyenne deux parcelles par demi-journée, ce qui per-

met des échanges fréquents de cartes de l'avion à l'hélicoptère.

La stratification de l'aire à inventorier et une allocation optimale des places-échantillons constituent une stratégie qui permet d'augmenter la précision de la densité estimée. De plus, l'allocation au hasard et sans remise des parcelles à l'intérieur d'une strate permet aussi un gain de précision (Caughley, 1977). L'estimation des variances obtenue lors du calcul de la précision nette relative a permis de calculer le nombre de parcelles de 60 km² à inventorier pour obtenir un intervalle de confiance de ± 20 pour cent de la moyenne ($P = 0.2$); ce nombre était de 21 pour les zones de chasse et de 11 pour le parc et la réserve. Ce bas niveau de précision provient surtout de la distribution contagieuse des originaux sur le territoire (Fraser

& Barbowski, 1978) et de leur densité réduite. Par ailleurs, des transformations mathématiques en vue de normaliser la distribution de fréquences sont inutiles puisqu'elles n'accroissent pas sensiblement la précision statistique (Fraser & Barbowski, 1978).

PRÉDICTION DE LA DENSITÉ

Caughley (1974) est venu à la conclusion que les estimations de population de grand mammifères obtenus à partir de vols rectilignes en avion étaient entachées d'un biais inéluctable, caractérisé par une tendance à la sous-estimation. Ce biais était causé par la largeur de la bande d'observation, la vitesse de vol et l'altitude de l'avion. Il suggérait de mesurer ce biais pour corriger les estimations de densité. L'inventaire de l'orignal par avion n'échappe pas à ce biais et pour cette raison nous avons tenté d'apporter une correction en utilisant l'hélicoptère pour estimer le biais. Une analyse de régression multiple par étapes a servi à mettre en relation la densité d'orignaux estimée par l'équipe de l'hélicoptère et le nombre d'orignaux observés par l'équipe de l'avion. Les résultats du tableau I ont servi à l'analyse statistique. Comme le nombre d'orignaux vus de l'avion pouvait aussi dépendre du degré d'ouverture du couvert végétal et de la mobilité des bêtes, le pourcentage de peuplements forestiers ouverts (sur les cartes forestières, peuplements décrits comme chablis total, coupe totale, brûlé et tous les peuplements de classe de densité D), le pourcentage de l'aire occupée par les réseaux de pistes et l'épaisseur de la neige au sol ont été ajoutés à la liste des variables indépendantes.

Le tableau II fait voir qu'il y avait une relation linéaire significative ($P < 0,005$) entre la densité d'orignaux et le nombre d'animaux observés par 100 km parcourus par l'équipe

de l'avion (équation 1). L'addition du pourcentage de l'aire occupée par les réseaux de pistes et du pourcentage de peuplements ouverts améliorerait sensiblement la valeur prédictive du modèle [l'addition de l'épaisseur de la neige ne produisait aucune amélioration significative du modèle ($P > 0,1$)]; en effet, plus de 99 pour cent de la variabilité était expliqué par l'équation 3. Lorsque les cartes forestières n'étaient pas disponibles, la seule addition du pourcentage de l'aire occupée par les réseaux de pistes (équation 2) produisait une augmentation substantielle de la valeur du coefficient de détermination.

Conclusion

L'utilisation des régressions multiples (tableau II) qui ne font appel qu'à l'avion permettrait de réduire de près de 70 pour cent les coûts des inventaires aériens. Leur valeur prédictive excellente et le fait que les données qui ont servi à les calculer couvrent un large éventail de densités favorisent davantage la généralisation de leur emploi. Ainsi, on pourrait prévoir un programme biennal ou triennal économique qui permettrait d'estimer la densité de l'orignal dans les zones de chasse du Québec où le taux d'exploitation est élevé. Même si les modèles étaient moins précis pour les zones de chasse où l'habitat est sensiblement différent de la région d'étude, les densités estimées auraient quand même une valeur comparative dans le temps. Cette prédiction de la densité, couplée à la prédiction faite à partir de l'effort de chasse (Crête, Taylor & Jordan, données non publiées), permettraient de suivre de près l'évolution numérique des populations d'orignaux. Par ailleurs, il serait nécessaire de mener l'inventaire à la même vitesse et à la même altitude de vol pour pouvoir utiliser les modèles du tableau II. De plus, il faudrait éviter de concentrer les survols à

TABLEAU II

Régression entre le nombre d'orignaux par km² trouvé par l'équipe de l'hélicoptère (y), le nombre d'orignaux observés par 100 km parcouru par l'équipe de l'avion (x₁), le pourcentage de l'aire occupée par les réseaux de pistes d'orignaux (x₂) et le pourcentage de peuplements forestiers ouverts (x₃). L'addition de chaque variable à la régression multiple était statistiquement significative ($P < 0,05$).

	Régression	R ² (\bar{R}^2)	F (d.l.)	S _{est} ¹
(1)	$y = 0,059 x_1 + 0,042$	0,77 (0,73)	19,8 (1,6)	0,06
(2)	$y = 0,076 x_1 + 0,004 x_2 + 0,059$	0,91 (0,87)	24,1 (2,5)	0,04
(3)	$y = 0,074 x_1 + 0,004 x_3 + 0,002 x_2 + 0,132$	0,99 (0,99)	158,7 (3,2)	0,01

¹ écart-type de l'estimation.

TABLEAU III

Nombre d'orignaux observés en avion au cours des différents inventaires selon l'heure du jour. Un test de χ^2 a révélé que la fréquence d'observation n'était pas uniforme ($P < 0.01$).

Heure	Orignaux observés par 100 km
9h00-9h59	2,7 (9 ¹)
10h00-10h59	1,7 (34)
11h00-11h59	2,6 (57)
12h00-12h59	0,7 (6)
13h00-13h59	3,4 (36)
14h00-14h59	2,2 (55)
15h00-15h59	2,5 (41)

¹ nombre d'orignaux observés.

une période précise du jour et prévoir plutôt deux sorties quotidiennes, car la facilité à voir les orignaux n'est pas uniforme au cours de la journée (tableau III; LeResche & Rausch, 1974).

Pour chaque zone de chasse, le programme d'inventaire devrait comprendre une quinzaine de places-échantillons de 60 km² distribuées au hasard et sans remise. Ce plan de sondage laisserait la possibilité d'utiliser l'hélicoptère lorsque des données sur le rapport des sexes et le nombre de petits par femelle sont requises.

L'utilisation de l'hélicoptère et la tenue des dénombrements aériens en janvier ont permis de réduire sensiblement la variabilité des estimations de densité. Néanmoins, il est évident qu'un certain nombre d'orignaux n'ont pas été localisés lors des inventaires; il faut maintenant déterminer ce taux de localisation. Pour mesurer cette fraction d'animaux non décelés, on pourra imaginer un protocole expérimental semblable à celui mis au point par Floyd *et al.* (1979); ces auteurs ont utilisé des cerfs de Virginie munis de radio-émetteurs pour connaître la proportion de ceux-ci qui était visible d'un avion. Si cette dernière approche devait échouer, il faudrait songer à une technique de marquage-recapture comme celle qu'ont décrite Rice et Harder (1977).

Remerciements

Nous voulons d'abord exprimer notre gratitude à nos collègues de travail qui ont participé aux inventaires, soit P. Beauchemin, J. Boivin, L. Breton, G. Michaud, D. Paré, R. Pariseau et M. Poulin. Nous remercions aussi les pilotes B. Ben-

bridge, J.-G. Lejeune, F. Lemieux, Z. Lemieux, N. Ouellet, C. Richard et B. Samson qui nous ont conduit prudemment à bon port. Merci à M. Bélanger, J.-M. Brassard, F. Goudreault, H. Jolicoeur et R. Joly pour avoir révisé le manuscrit initial. Merci enfin à J.-R. Moreau qui a dessiné les figures.

Références

- BERGERUD, A. T. & F. MANUEL, 1969. Aerial census of moose in Central Newfoundland. — *J. Wildl. Mgmt*, 33: 910-916.
- BOUCHARD, R. & G. MOISAN, 1974. Chasse contrôlée à l'orignal dans les parcs et réserves du Québec (1962-1972). — *Naturaliste can.*, 101: 689-704.
- BRASSARD, J.-M., E. AUDY, M. CRÊTE & P. GRENIER, 1974. Distribution and winter habitat of moose in Québec. — *Naturaliste can.*, 101: 67-80.
- CAUGHLEY, G., 1974. Bias in aerial survey. — *J. Wildl. Mgmt*, 38: 921-933.
- CAUGHLEY, G., 1977. Sampling in aerial survey. — *J. Wildl. Mgmt*, 41: 605-615.
- CAUGHLEY, G., R. SINCLAIR & D. SCOTT-KEMMIS, 1976. Experiments in aerial survey. — *J. Wildl. Mgmt*, 40: 290-300.
- COCHRAN, W. G., 1977. Sampling techniques. — 3rd ed. — John Wiley and Sons, New York, 428 p.
- COMITÉ DE COORDINATION DES INVENTAIRES, 1973. Normes d'inventaire aérien du gros gibier. — *Min. Tour. Chasse Pêche, Rapp. spéc.*, n° 1. 45 p.
- CRÊTE, M., 1977. Importance de la coupe forestière sur l'habitat hivernal de l'orignal dans le sud-ouest du Québec. — *Can. J. For. Res.*, 7: 241-257.
- CRÊTE, M., 1979. Estimation de la densité d'orignaux au moyen d'inventaires aériens complets. — *Naturaliste can.*, 106: 481-483.
- DESMEULES, P., 1965. Hyemal food and shelter of moose (*Alces alces americana* CL.) in Laurentide Park, Québec. — *M. Sc. thesis*, Univ. Guelph, Guelph, Ontario.
- FERLAND, M. G. & R. M. GAGNON, 1967. Climat du Québec méridional. — *Min. Richesses Nat. Québec*, MP-13, 93 p.
- FLOYD, T. J., L. D. MECH & M. E. NELSON, 1979. An improved method of censusing deer in deciduous-coniferous forests. — *J. Wildl. Mgmt*, 43: 248-261.
- FRASER, D. & J. BARBOWSKI, 1978. Some wildlife census estimates based on non-normal frequency distributions. — *Proc. N. Am. Moose Conf. Workshop*, 14: 21-32.
- LERESCHE, R. E. & R. A. RAUSCH, 1974. Accuracy and precision of aerial moose censusing. — *J. Wildl. Mgmt*, 38: 175-182.

- LYNCH, G. M., 1975. Best timing of moose surveys in Alberta. — Proc. N. Am. Moose Conf. Workshop, 11: 141-154.
- NOVAK, M. & J. GARDNER, 1975. Accuracy of moose aerial surveys. — Proc. N. Am. Moose Conf. Workshop, 11: 154-181.
- RICE, W. R. & J. D. HARDER, 1977. Application of multiple aerial sampling to a mark-recaptured census of white-tailed deer. — J. Wildl. Mgmt, 41: 197-206.
- ROUSSEL, Y. E., 1975. Aerial sexing of antlerless moose by white vulval patch. — J. Wildl. Mgmt, 39: 450-451.
- TIMMERMANN, H. R., 1974. Moose inventory methods: a review. — Naturaliste can., 101: 615-629.

FRÉQUENCE OPTIMALE DES MESURES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES POUR DÉCELER L'EFFET DU SCARIFIAGE DU SITE

André P. PLAMONDON

*Département d'aménagement et de sylviculture,
Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval, Québec G1K 7P4*

Résumé

L'auteur compare les différences de la température de l'air, de la température du sol et de la tension de l'eau dans le sol entre une station scarifiée et une autre non scarifiée. Les différences moyennes obtenues par un échantillonnage hebdomadaire, bihebdomadaire et de dix jours par mois sont comparées aux valeurs journalières moyennes mensuelles.

Lorsqu'on cherche à déterminer l'effet moyen du scarifiage, un échantillonnage plus restreint a l'avantage de réduire les coûts de la collecte et de l'analyse des données.

Abstract

The author compares air temperature, soil temperature and soil water tension between a scarified and a non scarified plot. The average differences obtained by sampling once a week, twice a week and ten days per month are compared to the monthly mean daily values.

When looking for the average effect of scarification, a more limited sampling reduces the cost of data collection and analysis.

Introduction

Les problèmes d'échantillonnage des microenvironnements sont traités en détail par Munn (1970). Les microenvironnements changent annuellement et journalièrement de façon cyclique, en plus de varier de façon aléatoire sur de très courtes périodes. C'est notamment le cas pour la température de l'air près de la surface active (Geiger, 1966). Dans le sol, les changements sont plus lents, quoique à faible profondeur on puisse rencontrer des variations relativement rapides.

À cause des variations climatiques irrégulières, il n'est pas recommandable de prendre des mesures instantanées à des intervalles d'un jour dans le but de caractériser les microenvironnements. Le moment de la mesure pouvant coïncider avec des parties différentes du cycle, on peut manquer les extrêmes. Cependant, lorsqu'on compare deux stations, comme dans notre cas, ces problèmes s'estompent, dans la mesure où les cycles sont de même durée dans les deux sites.

Plusieurs auteurs ont traité de l'influence de la préparation du site sur la température

de l'air, la température du sol ou la teneur en eau du sol (Linteau, 1948; Godman, 1957, 1959; Godman & Krefting, 1960; Wang, 1965; Stransky & Wilson, 1966; Tubs, 1969; Mölkönon, 1972; Dobbs & McMinn, 1973; Leikola, 1974; McMinn, 1974; Kittams & Ryker, 1975; Sims, 1975; Soderstrom, 1975). Cependant, aucune de ces études ne traite de la fréquence des mesures optimales afin de déceler l'effet du traitement. Le but de ce travail est donc de déterminer la fréquence des mesures la plus appropriée pour déceler l'effet du scarifiage sur la température de l'air, la température du sol et la tension de l'eau du sol. La fréquence optimale est celle qui minimise les coûts, tout en assurant une précision adéquate en fonction de l'objectif poursuivi.

Localisation et description du site

Le secteur expérimental est situé à la Station forestière de Duchesnay, à une trentaine de kilomètres au nord-ouest de Québec, à la limite sud de la Section Forestière Laurentienne (L4a de Rowe), dans le do-

maine climacique de l'érablière à bouleau jaune.

Le sol, parsemé de nombreux boulders, est constitué de podzols reposant sur des tills. La pente, exposée au nord-est, varie entre 1 et 18% et le drainage est de moyen à rapide.

Méthode et matériel

Le secteur étudié fut soumis à une coupe rase de 58 ha à l'été 1971. En mai 1972, un bloc de 6 ha fut scarifié à l'aide de trois chaînes d'ancres munies de pointes tirées par un tracteur D-7. Le traitement a pour effet de mélanger, avec un recouvrement de 30%, la couche d'humus au sol minéral et de briser les déchets de coupe. Afin de réduire les risques d'érosion, le scarifiage fut effectué parallèlement aux lignes de niveaux. Après la première saison de croissance, le sol nu était à nouveau recouvert de végétation.

L'approche utilisée consiste à comparer quelques paramètres hydrométéorologiques entre les blocs scarifié (station 4) et non scarifié (station 3). Les deux stations occupent une pente moyenne à la même élévation. On ne dispose d'aucune période d'étalement entre les deux stations avant le traitement. Les données sont comparées statistiquement à l'aide du test de "t" pour des places échantillons jumelées (Li, 1964).

À la surface du sol, seule la température minimale de l'air était mesurée. Par contre, à 30 cm de hauteur les températures minimales et maximales ainsi que les températures instantanées à 8h30 et 18h30 ont été mesurées à l'aide d'un thermomètre à minimum installé dans un abri léger. Les températures de l'air ont été relevées journalièrement du 1^{er} juillet au 31 octobre 1972 et du 1^{er} mai au 31 août 1973. La précision des lectures est de 0,5°C.

La température et la tension de l'eau dans le sol ont été mesurées journalièrement à 8h30, 12h30 et 18h30 à 5, 15, 30 et 60 cm de profondeur, du 10 juin au 30 septembre 1972 et du 1^{er} mai au 31 juillet 1973. Une seule sonde était utilisée à chaque profondeur. Le thermohydromètre utilisé est le bloc de résistance en fibre de verre (*Soil-Test*, modèle MC 310A). Ce bloc est composé d'une paire d'électrodes enrobées de fibre de verre qui mesurent le changement de résistance associé aux variations de la teneur en eau du sol. L'instrument incorpore une

résistance (*Western Electric* modèle 7A) permettant de mesurer la température. Les résistances de ces deux capteurs sont mesurées à l'aide d'un ohmmètre portatif (*Soil-Test*, modèle 300A *Soil-Moisture Meter*).

Chaque sonde était étalonnée au laboratoire, en la plaçant à l'intérieur d'un échantillon de sol non remanié durant la détermination des caractéristiques de rétention en eau du sol. Cette méthode serait la plus précise (Freeze & Banner, 1970). Les courbes de rétention ont été déterminées de façon standard à l'aide du vase à pression (Richards, 1965); on peut aussi établir une courbe d'étalonnage entre la résistance et la tension de l'eau du sol. Les résistances lues sont corrigées pour une température standard de 15,5°C. Au-dessus de 0°C, il existe une relation linéaire entre le logarithme de la résistance et la température (Harlan *et al.*, 1971).

La précision de la mesure de la température à l'aide du bloc de résistance est d'environ 1°C. Selon Slavik (1974), la précision de la tension mesurée à l'aide de blocs de résistance est de 5 à 10% de la valeur obtenue entre 0 et 15 000 cm d'eau. La précision de la lecture sur le cadran de l'appareil est de ± 1 unité. Cette lecture, lorsqu'elle est transformée en tension engendre une erreur absolue d'environ 5 cm d'eau dans le calcul de la différence entre deux valeurs. Dans ce travail, on considère que l'erreur de la tension est de 5 cm d'eau entre 0 et 50 cm et de 10% de la valeur au-dessus de 50 cm.

Résultats et discussion

TEMPÉRATURE DE L'AIR

En moyenne, durant la saison estivale, la température instantanée mesurée à 8h30 se situe plus près de la température moyenne journalière que celle mesurée à 18h30. Ainsi, lorsque les températures minimales et maximales ne peuvent être mesurées, il semble préférable de prendre les lectures instantanées à 8h30 plutôt qu'à 18h30.

Les différences des températures minimales et maximales de l'air entre les stations scarifiée et non scarifiée pour différentes fréquences de mesures sont présentées au tableau I. Les différences mesurées journalièrement, du 11 au 20 du mois, deux fois par semaine et une fois par semaine sont comparées aux valeurs journalières moyennes pour chaque mois. La période du 11 au 20 de

TABLEAU I

Différences des températures minimales et maximales de l'air (°C) entre les stations scarifiée et non scarifiée pour diverses fréquences de mesures

Période		30 cm de hauteur								Surface			
		Minimum				Maximum				Minimum			
		Journalier	11 au 20	2 fois par semaine	1 fois par semaine	Journalier	11 au 20	2 fois par semaine	1 fois par semaine	Journalier	11 au 20	2 fois par semaine	1 fois par semaine
Juillet	1972	0,5	<u>1,0</u>	0,5	<u>0,5</u>	-1,0	<u>-1,0</u>	<u>-1,0</u>	<u>-1,0</u>	1,0	0,5	1,0	<u>1,0</u>
Août	1972	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	-1,0	<u>-1,0</u>	<u>-1,0</u>	<u>-1,0</u>	1,0	1,0	1,0	<u>0,5</u>
Sept.	1972	0,5	<u>1,0</u>	0,5	<u>0,0</u>	-1,0	<u>-0,5</u>	-1,0	<u>-1,0</u>	0,5	<u>0,5</u>	0,0	<u>-0,5</u>
Octobre	1972	0,5	<u>0,5</u>	0,5	<u>0,0</u>	-0,5	<u>-1,0</u>	<u>-0,5</u>	<u>0,0</u>	0,5	<u>1,0</u>	<u>0,5</u>	<u>0,5</u>
Mai	1973	0,5	<u>0,5</u>	0,5	<u>0,5</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>-0,5</u>	0,5	0,5	0,5	<u>0,5</u>
Juin	1973	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>1,0</u>	<u>1,5</u>	<u>-1,0</u>	<u>-0,5</u>	<u>-0,5</u>	<u>-0,5</u>	1,0	<u>0,5</u>	<u>2,0</u>	<u>4,0</u>
Juillet	1973	<u>0,5</u>	<u>2,0</u>	<u>1,5</u>	<u>1,0</u>	<u>-0,5</u>	<u>0,0</u>	<u>-1,0</u>	<u>-1,0</u>	1,0	1,0	<u>0,5</u>	<u>1,0</u>

Les valeurs soulignées représentent les différences non significatives au seuil de probabilité de 95%.

chaque mois a été choisie arbitrairement et correspond à la période médiane lorsque celui-ci est divisé en trois.

En tenant compte de la valeur absolue des différences et du test statistique, ce sont les mesures bihebdomadaires qui se rapprochent le plus des valeurs journalières à 30 cm de hauteur. Dans le cas de la température minimale à la surface du sol, la période du 11 au 20 de chaque mois semble préférable aux autres périodes d'échantillonnage (tableau I), car l'écart des différences en juin 1973 est réduit. Cependant, à cause des faibles différences de températures entre les deux stations, la comparaison nous permet de dégager des tendances seulement.

TEMPÉRATURE DU SOL

Les différences des températures mesurées à 8h30, 12h30 et 18h30 à 5, 15 et 60 cm de profondeur étant similaires, seules les valeurs de 8h30 sont présentées au tableau II. Cependant, à 30 cm de profondeur il existe une augmentation des différences avec l'heure du jour. Les fluctuations diurnes de la température à cette profondeur sont relativement plus élevées dans la station scarifiée que dans celle non scarifiée. Toutes les lectures furent prises dans les mêmes conditions, à l'aide d'un seul appareil de lecture. Cette divergence peut être causée par une relation différente entre la résistance et la température de ce thermistor. De plus, les sondes n'étant pas placées verticalement les unes au-dessous des autres, cette grande fluctuation à 30 cm de profondeur dans la station scarifiée peut en partie s'expliquer par une différence de structure dans le sol ou une différence d'exposition à l'ensoleillement de la surface au-dessus de ces sondes. Afin de diminuer les effets de l'exposition, il semble préférable de prendre les mesures instantanées de la température du sol à 8h30.

Les différences des températures instantanées à 5 cm de profondeur dans le sol se situent, en général, en deçà de la précision de la mesure (tableau II). Les différences significatives obtenues sont dues à une faible dispersion des valeurs autour de la moyenne et n'indiquent pas nécessairement que la vraie température diffère entre les deux stations.

En novembre, les différences des températures instantanées estimées du 11 au 20 de chaque mois, deux fois ou une fois par se-

maine, sont à peu près identiques à celles mesurées journalièrement à 8h30. Les moyennes des écarts calculées par un échantillonnage hebdomadaire différent de celles basées sur les données journalières à 8h30 à 5 et 60 cm de profondeur. Les moyennes bihebdomadaires et du 11 au 20 de chaque mois différent de celles journalières à 60 et 30 cm de profondeur respectivement. Compte tenu de la précision des sondes, ces deux dernières donnent des résultats équivalents.

LA TENSION DE L'EAU DU SOL

Les différences de tensions entre les deux stations estimées par les mesures bihebdomadaires se rapprochent le plus des valeurs journalières moyennes (tableau III). Cependant, si l'on considère que l'erreur de mesures est d'au moins 5 cm ou 10% de la différence de tension entre les deux stations, il n'y a aucun écart significatif entre les différences obtenues à différentes heures ou pour différentes fréquences d'échantillonnage.

Conclusions

Il est recommandable de mesurer la température minimale et maximale de l'air, plutôt que d'effectuer des mesures instantanées, dans le but de déceler l'effet du scarifiage sur ce paramètre. Dans le cas de la température et de la tension de l'eau dans le sol, il n'y a aucun avantage à prendre plus d'une mesure instantanée par jour à moins d'étudier les cycles diurnes.

Lorsque le but est d'obtenir l'effet moyen mensuel ou saisonnier du scarifiage, un échantillonnage moins fréquent a l'avantage de diminuer sensiblement les coûts de la collecte et représente un gain de temps lors de l'analyse des données. Lorsque le lieu d'étude est éloigné, il est plus pratique d'échantillonner une période d'environ dix jours par mois. Par contre, pour un site d'étude facilement accessible, il est préférable d'échantillonner deux fois par semaine, afin de tenir compte des conditions climatiques variables. L'échantillonnage de dix jours peut coïncider avec des conditions météorologiques différentes de celles du reste du mois.

Finalement, ce travail s'adresse à la fréquence d'un échantillonnage temporel, mais ne résout pas le problème de la variabilité spatiale à l'intérieur du traitement.

TABLEAU II

 Différences des températures dans le sol (°C) entre les stations scarifiée et non scarifiée
 pour diverses fréquences de mesures prises à 8h30

Profondeur (cm)		Journalier				11 au 20 du mois				2 fois par semaine				1 fois par semaine			
		5	15	30	60	5	15	30	60	5	15	30	60	5	15	30	60
Mois																	
Juin	1972	0,5	2,5	3,0	4,0	<u>0,5</u>	2,0	2,0	4,0	<u>1,5</u>	3,0	2,5	5,0	<u>0,5</u>	2,5	2,0	3,5
Juillet	1972	<u>0,0</u>	2,5	3,5	3,5	<u>0,0</u>	3,0	5,0	3,5	<u>-1,5</u>	2,0	3,5	3,0	<u>-2,0</u>	2,0	<u>3,0</u>	3,0
Août	1972	<u>0,5</u>	2,0	1,0	2,5	<u>0,5</u>	2,0	<u>0,5</u>	2,5	<u>0,0</u>	2,0	1,5	2,5	<u>0,0</u>	1,5	1,5	3,0
Septembre	1972	<u>-1,0</u>	0,5	-1,0	1,0	<u>-1,0</u>	0,5	<u>-2,0</u>	1,0	<u>-0,5</u>	1,0	<u>-1,0</u>	1,0	<u>-0,5</u>	1,0	-0,5	1,5
Mai	1973	<u>0,0</u>	2,0	2,0	1,0	0,0	<u>0,5</u>	2,0	1,0	0,0	1,5	<u>0,0</u>	1,5	0,5	2,0	-2,0	1,5
Juin	1973	1,0	2,0	4,0	2,0	1,5	<u>2,5</u>	3,5	2,0	1,0	2,0	5,0	2,0	<u>1,0</u>	2,5	5,5	<u>2,0</u>
Juillet	1973	1,5	1,5	3,5	1,5	<u>2,0</u>	<u>1,0</u>	3,0	<u>0,5</u>	<u>1,5</u>	2,0	3,5	<u>1,5</u>	<u>0,5</u>	1,5	2,5	2,0
Moyenne		0,5	2,0	2,5	2,0	0,5	2,0	2,0	2,0	0,5	2,0	2,5	2,5	0,0	2,0	2,5	2,5

Les valeurs soulignées représentent les différences non significatives au seuil de probabilité de 95%.

TABLEAU III

Différences des tensions (cm d'eau) dans le sol entre les stations scarifiée et non scarifiée
pour diverses fréquences de mesures prises à 8h30

Profondeur (cm)		Journalier				11 au 20 du mois				2 fois par semaine				1 fois par semaine			
		5	15	30	60	5	15	30	60	5	15	30	60	5	15	30	60
Juin	1972	-157	-266	-13	-6	-158	-270	-17	-8	-149	-277	-13	<u>-5</u>	-148	-276	-13	-6
Juillet	1972	-142	-245	-5	-6	-146	-234	<u>-4</u>	-3	-139	-245	-5	<u>-6</u>	-139	-242	-6	-8
Août	1972	-120	-271	-6	-3	-117	-300	<u>-9</u>	<u>-4</u>	-120	-270	-7	<u>-2</u>	-109	-260	<u>-8</u>	<u>-4</u>
Septembre	1972	-120	-242	-8	-6	-116	-241	-12	-4	-117	-251	-7	-6	-112	-264	-8	<u>-8</u>
Mai	1973	-35	-208	-8	<u>3</u>	-27	-200	<u>-6</u>	5	-34	-200	-10	1	-34	-202	-9	1
Juin	1973	-32	-206	-9	<u>-10</u>	-28	-201	<u>-8</u>	-7	-31	-200	-11	-9	-29	-202	-12	<u>-7</u>
Juillet	1973	-31	-90	8	-7	-30	-81	4	<u>-3</u>	-30	-94	10	-7	-35	-99	<u>9</u>	<u>-7</u>
Moyenne		-87	-213	-5	-5	-88	-220	<u>-7</u>	-4	-91	-209	-7	-5	-88	-206	-8	-4

Les valeurs soulignées représentent les différences non significatives au seuil de probabilité de 95%.

Remerciements

Nos sincères remerciements s'adressent à Mademoiselle Lise Robitaille du Service de la recherche du Ministère des terres et forêts du Québec qui a élaboré ce projet et fourni les données, ainsi qu'à M. Pierre Bellefleur pour la révision du manuscrit. Les données ont été recueillies grâce à la collaboration du personnel de la Station forestière de Duchesnay.

Références

- DOBBS, R.C. & R.G. McMINN, 1973. Effets de la préparation de la station sur les températures estivales du sol dans les bûchés d'épinettes-sapins en Colombie Britannique continentale. — Rev. bimestr. Rech. Env. Can., 29(1): 3-4.
- FREEZE, R.A. & J.A. BANNER, 1970. An instrumented experimental site for the investigation of soil moisture, frost, and groundwater discharge. — Dept. EMR Int. Water Br. Tech. Bull., no. 21, 29 p.
- GEIGER, R., 1966. The climate near the ground. — Harvard Univ. Press, 611 p.
- GODMAN, R.M., 1957. Disking increases the number and growth of Yellow Birch seedling. — U.S. Forest Serv., Lake States Forest Expt., Sta., Tech. Note 511, 2 p.
- GODMAN, R.M., 1959. Are water table levels an important factor in the establishment and growth of Yellow Birch? — Pap. Mich. Acad. Sci., 44: 183-190.
- GODMAN, R.M. & L.W. KREFTING, 1960. Factors important to Yellow Birch establishment in Upper Michigan. — Ecology, 41: 18-28.
- HARLAN, R.L., J.A. BANNER & R.A. FREEZE, 1971. Interpretation of electrical resistance soil moisture data for a freeze-thaw environment. — Can. J. Soil Sci., 51: 249-259.
- KITTAMS, J.A. & R.A. RYKER, 1975. Habitat type and site preparation affect survival of planted Douglas-Fir in Center Idaho brushfields. — USDA Forest Serv. Res. Note, INT-198, 6 p.
- EIKOLA, M., 1974. Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in Northern Finland. — Metsantutkimuslaitoksen Julkaisuja, 84: 64 p.
- LI, J.C.R., 1964. Statistical inference I. — Edwards Brothers, Inc. Michigan, 658 p.
- LINTEAU, A., 1948. Factors affecting germination and early survival of Yellow Birch (*Betula lutea* Michx. F.) in Quebec. — For. Chron., 24: 27-75.
- McMINN, R.G., 1974. Effect of four site treatments on survival and growth of White Spruce and Lodgepole Pine seedlings. — Bi-mon. Res. Notes Env. Can., 30(3): 19-20.
- MOLKONON, E., 1972. Some aspects of forest soil cultivation. — Folio Forestalia Institutwin Forestale Fennial, no. 137, 11 p.
- MUNN, R.E., 1970. Biometeorological methods. — Envir. Sci. Ser., Academic Press, New York, 336 p.
- RICHARDS, L.A., 1965. Physical condition of water in soil. — Pages 128-151 in C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. ASA, Madison, Wisconsin, 770 p.
- SIMS, H.P., 1975. Temperature and moisture conditions on a plowed Jack Pine strip cut in Southeastern Manitoba. — Can. J. For. Res., 5: 541-545.
- SLAVIK, B., 1974. Methods of studying plant water relations. — Ecol Stud., no. 9. Springer-Verlag, New York, 449 p.
- SODERSTROM, V., 1975. Ecological effects of plowing clear felled areas. — Skogsvardsforbunds Tidskrift, 73: 443-472.
- STRANSKY, J.J. & D.R. WILSON, 1966. Pine seedling survival under simulated drought. — USDA Forest Serv. Res. Note SO-30, 2 p.
- TUBBS, C.H., 1969. The influence of light, moisture, and weedbed on Yellow Birch regeneration. — USDA Forest, Serv., North Central For. Expt. Sta., Res. Pap. NC-27, 12 p.
- WANG, B.S.P., 1965. Seedbed, canopy, and moisture effects on growth of Yellow Birch seedlings. — For. Chron., 41: 106-107.

ÉTUDE DES LICHENS APPARTENANT AUX GENRES *BRYORIA*, *ALECTORIA* ET *RAMALINA* DANS LES FOYERS D'INFESTATION DE *LAMBDA* *FISCELLARIA FISCELLARIA* (GUÉN.) À L'ÎLE D'ANTICOSTI

M. LAFLAMME-LÉVESQUE, J. M. PERRON

Département de biologie, Faculté des sciences et de génie,
Université Laval, Québec G1K 7P4

et

L. JOBIN

Laboratoire de recherches forestières des Laurentides,
Environnement Canada, Ste-Foy, Québec G1V 4C7

Résumé

Différents peuplements forestiers de l'île d'Anticosti ont été étudiés afin de déterminer la distribution des lichens fruticuleux corticoles. Dix-sept espèces de lichens ont été dénombrées sur les conifères: 9 appartiennent au genre *Bryoria*, 1 au genre *Alectoria*, 4 au genre *Ramalina* et 3 au genre *Usnea*. *Bryoria salazinica* Brodo & D. Hawksw. est mentionné au Québec pour la première fois. La densité lichénique est mise en relation avec l'âge et la densité des peuplements forestiers.

Abstract

Various forest stands were visited to study the distribution of the fruticose tree lichens of Anticosti Island. Seventeen species were found to be present: 9 *Bryoria*, 1 *Alectoria*, 4 *Ramalina*, and 3 *Usnea*. The distribution of these species according to the different parts of the trees was studied. *Bryoria salazinica* Brodo & D. Hawksw. is reported from Québec for the first time. Lichen density was related with age and density of forest stands.

Introduction

Située dans le golfe du Saint-Laurent (49°4'-49°53'N. et 61°45'-64°35'O.) et d'une superficie d'environ 10 363 km², l'île d'Anticosti est soumise à un climat tempéré froid et à une très forte influence maritime. Les peuplements forestiers qui la recouvrent ont été témoins de pullulations d'un important insecte défoliateur, *Lambdina fiscellaria fiscellaria* (Guén.), au cours des années 1930 et 1970 et plusieurs milliers d'acres de forêt furent détruits (Jobin, 1973). Le papillon dépose ses œufs, dans 90% des cas, sur les lichens «pendants» sur le tronc et les branches du sapin et de l'épinette blanche, surtout des espèces de *Bryoria* et d'*Alectoria* (Jobin, 1973). Il est connu que les forêts susceptibles aux pullulations de *L. fiscellaria fiscellaria* seraient celles qui auraient atteint leur maturité et qui auraient des lichens corticoles en abondance.

Afin d'élargir nos connaissances sur les mécanismes qui assurent la reproduction de cet insecte, la distribution et la localisation sur les conifères des lichens appartenant aux genres *Bryoria*, *Alectoria*, *Usnea* et *Ramalina* ont été étudiées à l'île d'Anticosti. Certaines informations concernant la relation qui existe entre les peuplements forestiers et la densité de lichens ont été ajoutées.

Matériel et méthodes

Selon la susceptibilité des peuplements forestiers aux attaques de l'insecte (Jobin, 1973) et les facilités d'accès, six régions de l'île d'Anticosti ont été étudiées (fig. 1). Il s'agit, tout d'abord, du secteur de la rivière de la Chaloupe et de la rivière aux Saumons qui recouvre une partie de l'île dans toute sa largeur, ensuite du bassin de la rivière Vauréal, puis de la région de la rivière Mac-

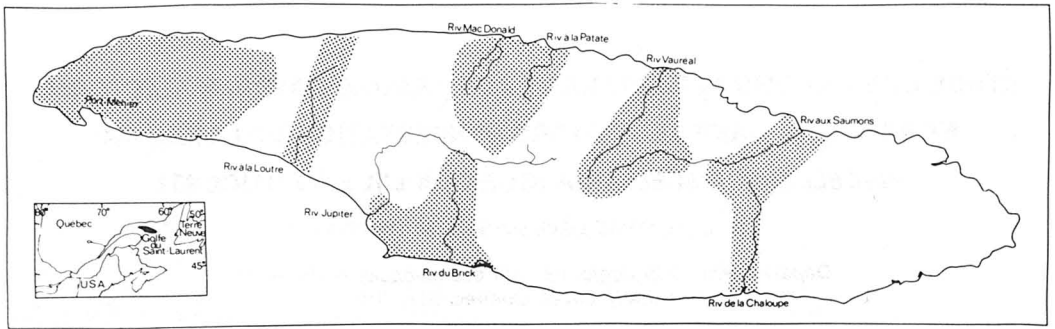


Figure 1. Localisation et principales régions étudiées de l'île d'Anticosti.

Donald et de la rivière à la Patate, suivie au sud du secteur de la rivière Jupiter et de la rivière du Brick. La cinquième région est constituée par une bande au niveau de la rivière à la Loutre; enfin les environs de Port-Menier et l'extrémité ouest de l'île constituent la dernière région.

Notre analyse est basée sur du matériel récolté au cours de l'été 1977, dans 111 places-échantillons choisies dans les différentes régions étudiées. Dans chaque place-échantillon, les lichens ont été récoltés sur le tronc et sur les branches des conifères. Les peuplements forestiers étudiés présentaient une certaine homogénéité quant à la densité de recouvrement des arbres par les lichens. Toutefois, s'il existait une variation dans la densité lichénique, l'échantillonnage se faisait sur les conifères jugés comme représentant la moyenne de recouvrement lichénique de l'ensemble du peuplement. Cet échantillonnage se faisait parallèlement pour les trois secteurs de l'arbre, soit le sommet, la région médiane et la base. Dans chaque région, les essences forestières étudiées étaient *Abies balsamea* (L.) Mill., *Picea glauca* (Moench) Voss et *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Suite au choix d'une place-échantillon, la composition forestière et la densité ont été déterminées sur deux superficies délimitées par le prisme n° 10 (405 m² ou un dixième d'acre). Une sonde de Presler a été utilisée pour estimer l'âge moyen des arbres. À chaque place-échantillon, l'âge des conifères a été mesuré, à 1,2 m de hauteur, sur cinq arbres comprenant ceux sur lesquels la densité lichénique a été évaluée. Le pourcentage de recouvrement du tronc et des branches des conifères par les lichens «pendants» a été évalué avec des lunettes d'approche 30 X. Pour chaque essence forestière étudiée, la densité lichénique a été évaluée sur un minimum de trois arbres.

Quatre classes de densité différente ont été établies d'après les critères suivants: classe 1: absence de lichens; classe 2: une moyenne de recouvrement de l'arbre de 15%; classe 3: une moyenne de recouvrement de l'arbre de 50%; classe 4: une moyenne de recouvrement de l'arbre d'environ 75%.

Pour l'identification des lichens corticoles des genres *Bryoria* et *Alectoria*, le récent travail de Brodo et Hawksworth (1977) a constitué notre seule référence. Par ailleurs, l'ouvrage de Dahl et Krog (1973) a permis l'identification des *Usnea*, tandis que celui de Hale (1969) celle des espèces du genre *Ramalina*. Les identifications ont été vérifiées par I. M. Brodo. Les spécimens sont déposés à l'herbier Louis-Marie de l'Université Laval (QFA).

La relation existante entre la densité lichénique, l'âge des arbres et la densité forestière a pu être évaluée en soumettant nos résultats aux tests statistiques d'analyse de variance, de corrélation et de régression.

Résultats et discussion

DISTRIBUTION ET LOCALISATION DES LICHENS

Les lichens corticoles «pendants» qui colonisent les peuplements de conifères de l'île d'Anticosti appartiennent aux genres *Bryoria*, *Alectoria*, *Ramalina* et *Usnea*.

Neuf espèces du genre *Bryoria* sont dénombrées sur le territoire étudié. Par ordre d'importance ce sont: *B. trichodes* (Michx.) Brodo et D. Hawksw., *B. fuscescens* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw., *B. furcellata* (Fr.) Brodo et D. Hawksw., *B. capillaris* (Ach.) Brodo et D. Hawksw., *B. salazinicola* Brodo et D. Hawksw., *B. lanestris* (Ach.) Brodo et D. Hawksw., *B. nadvornikiana* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw., *B. tenuis* (Dahl) Brodo et

D. Hawksw. et *B. simplicior* (Vain.) Brodo et D. Hawksw.

L'espèce la plus commune, *B. trichodes*, est représentée par deux sous-espèces: ssp. *trichodes* et ssp. *americana* (Mot.) Brodo et D. Hawksw. Les peuplements forestiers étudiés, sapinières et pessières, recèlent tous la présence de ces deux sous-espèces (fig. 2A et 2B). D'après nos résultats, les trois essences forestières sont colonisées par l'une ou l'autre sous-espèce. Cependant, *P. mariana* est recouvert par une plus grande densité de lichens. Enfin, les deux sous-espèces sont présentes de façon constante à tous les niveaux de l'arbre.

B. fuscescens montre un certain intérêt du point de vue taxonomique, du fait que certains spécimens récoltés possèdent des pseudocyphelles; cette observation a été confirmée par Brodo (comm. pers.). À l'exception du bassin de la rivière de la Chaloupe, *B. fuscescens* est présent sur tout le territoire (fig. 2C) et croît sur les trois essences forestières étudiées. Quant à sa localisation sur l'arbre, cette espèce se retrouve 1,7 fois plus souvent sur le tiers supérieur que sur le tiers inférieur.

Moins abondant, *B. furcellata* est présent sur toute l'île, à l'exception de l'embouchure de la rivière à la Loutré (fig. 2D) et les essences forestières retenues pour notre

étude sont toutes colonisées. Cette espèce croît, dans 90% des cas, sur le tiers supérieur de l'arbre, laissant croire à un plus grand besoin de lumière (Brodo et Hawksworth, 1977).

B. capillaris présente une distribution semblable à celle de *B. furcellata* (fig. 2E) et colonise les mêmes essences, quoiqu'il soit moins abondant. Le fait qu'il se retrouve deux fois plus souvent sur le tiers supérieur des conifères que sur le tiers inférieur s'explique par son besoin d'une plus grande intensité lumineuse (Brodo et Hawksworth, 1977).

Étant donné leur rareté, les autres espèces du genre *Bryoria* n'ont pas fait l'objet d'études approfondies. Elles sont représentées sporadiquement dans les régions à l'ouest du bassin de la rivière Vauréal.

Le genre *Alectoria* est représenté par une seule espèce, *A. sarmentosa* (Ach.) Ach. ssp. *sarmentosa*, présente sur tout le territoire (fig. 3). Deux races chimiques, avec ou sans acide alectoronique (KC+ ou KC-), ont été récoltées. Dans notre échantillonnage, la race déficiente en acide alectoronique est relativement abondante, comme c'est le cas pour l'île de Terre-Neuve (Ahti & Hawksworth, 1974). Cette espèce se rencontre sur *A. balsamea*, *P. glauca* et *P. mariana*, aux trois niveaux des arbres, indépendamment

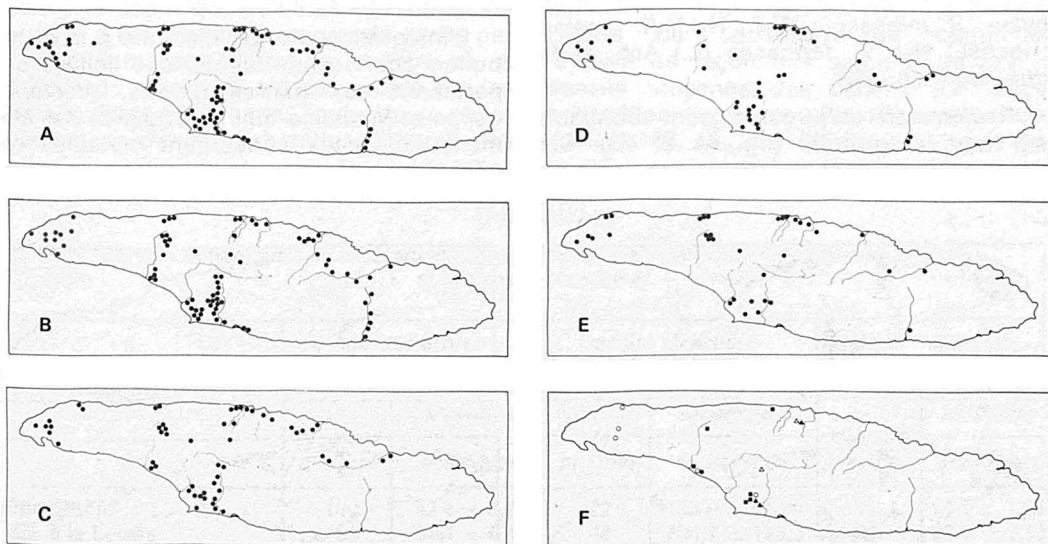


Figure 2. Distribution du genre *Bryoria* à l'île d'Anticosti: (A) *Bryoria trichodes* ssp. *trichodes*; (B) *Bryoria trichodes* ssp. *americana*; (C) *Bryoria fuscescens*; (D) *Bryoria furcellata*; (E) *B. capillaris*; (F) *Bryoria salazinic* (○), *Bryoria lanestr* (■), *Bryoria nadvornikiana* (▲), *Bryoria tenuis* (△), *Bryoria simplicior* (●).

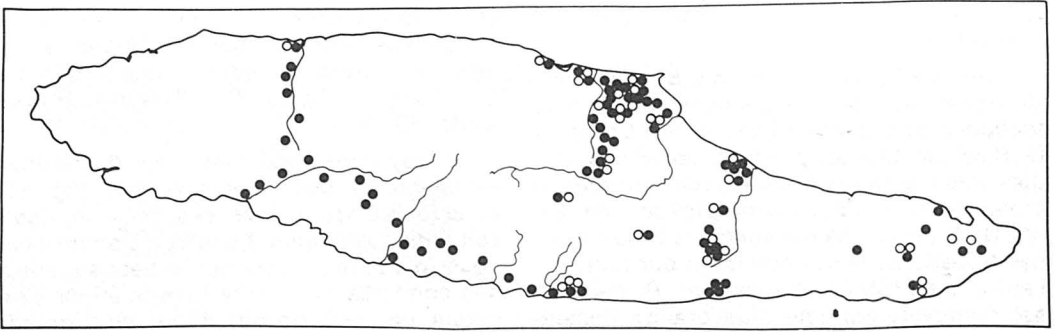


Figure 3. Distribution du genre *Alectoria* à l'île d'Anticosti.

- : *Alectoria sarmentosa* ssp. *sarmentosa*, race KC + ;
- : *Alectoria sarmentosa* ssp. *sarmentosa*, race KC -

de la densité du peuplement. Cette observation est en désaccord avec les résultats obtenus par Edwards *et al.* (1960) qui ont démontré que *A. sarmentosa* coloniserait de préférence les branches les plus basses dans les forêts denses.

À l'île d'Anticosti, nous avons récolté peu de spécimens appartenant au genre *Usnea*. Leur présence, quoique très éparse, est notée dans toutes les régions étudiées. Nous avons identifié trois espèces : *U. filipendula* Stirt., *U. longissima* Ach. et *U. sorediifera* (Arn.) Lynge *sensu lato*.

Dans les peuplements de conifères de l'île d'Anticosti, les lichens fructiculeux du genre *Ramalina* sont représentés par quatre espèces : *R. dilacerata* (Hoffm.) Hoffm. [synonyme : *R. minuscula* (Nyl.) Nyl.], *R. roesleri* (Hochst.) Nyl., *R. farinacea* (L.) Ach. et *R. thrausta* (Ach.) Nyl.

R. dilacerata et *R. roesleri* sont abondants sur tout le territoire (fig. 4A et 4B). Ces deux espèces sont présentes sur les trois

essences forestières étudiées et aux trois niveaux de l'arbre.

Seuls les peuplements forestiers en bordure de la mer sont colonisés par *R. farinacea* (fig. 4C). Aucun spécimen n'a été récolté sur *P. mariana*. Par ailleurs, nos observations ne permettent pas de signaler de préférence en ce qui concerne *A. balsamea* et *P. glauca*. Cette espèce de lichen se retrouve 1,85 fois plus souvent sur le tiers inférieur de l'arbre que sur le tiers supérieur.

R. thrausta montre aussi un patron de distribution avec une certaine affinité pour le bord de la mer (fig. 4D). Il croît préférentiellement sur le tiers inférieur de *A. balsamea* et *P. glauca*, dans une proportion de 2:1 par rapport au tiers supérieur.

L'intégration de nos résultats à la distribution connue au Québec des lichens appartenant aux genres *Bryoria*, *Alectoria*, *Usnea* et *Ramalina* met en évidence des éléments nouveaux concernant certaines espèces. La présence de *B. salazinica* cons-

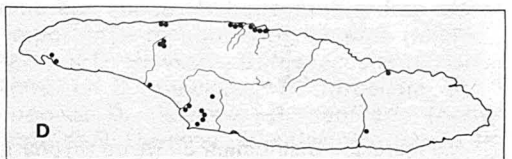
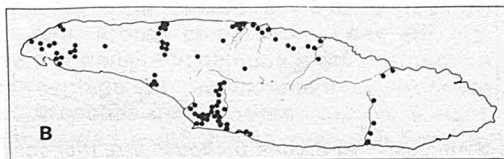
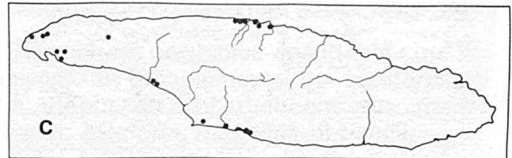
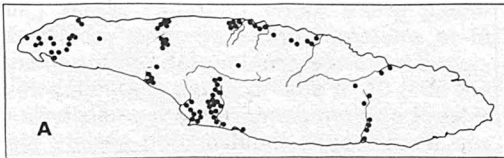


Figure 4. Distribution du genre *Ramalina* à l'île d'Anticosti : (A) *Ramalina dilacerata* ; (B) *Ramalina roesleri* ; (C) *Ramalina farinacea* ; (D) *Ramalina thrausta*.

titue une nouvelle mention pour le Québec. D'autre part, pour *B. fuscescens*, *B. furcellata*, *B. capillaris*, *B. simplicior*, *B. tenuis* et *B. nadvornikiana*, il s'agit de premières mentions pour l'île d'Anticosti.

Sur l'île d'Anticosti, Brodo et Hawksworth (1977) signalent la présence de *A. sarmentosa* ssp. *sarmentosa*. Toutefois, il s'agit d'une nouvelle mention de la race déficiente en acide alectoronique pour le Québec. Enfin, Lepage (1972) rapporte la présence au Québec des espèces précitées des genres *Usnea* et *Ramalina*.

DENSITÉ LICHÉNIQUE

À l'île d'Anticosti, selon les régions étudiées, la végétation forestière comprend principalement des peuplements de résineux où dominant le sapin baumier, l'épinette blanche ou l'épinette noire. La composition de ces peuplements semble un facteur pouvant influencer la densité de recouvrement des arbres par les lichens appartenant aux genres *Bryoria* et *Alectoria* (tableau I). Quoique très différente d'une région à l'autre, la composition forestière du territoire explique, en partie, la variation observée de la densité lichénique qui augmente d'ouest en est, à mesure qu'apparaissent les forêts naturelles à maturité. En effet, la région ouest de l'île a subi d'importantes perturbations au cours de plusieurs périodes d'exploitation forestière et de certains développements agricoles; le sapin qui dominait les forêts naturelles a été remplacé en grande partie par l'épinette blanche. C'est le secteur où la densité de recouvrement des arbres par les lichens est la plus faible. Toutefois, le changement de densité lichénique apparaît dès

que les forêts naturelles de la région non exploitée de la rivière à la Loure sont atteintes. Dans ce secteur, la végétation forestière se compose de sapinières et d'une pessière noire. L'importance du recouvrement des arbres par les lichens est plus manifeste en atteignant les vastes peuplements de sapins surannés situés au niveau des rivières du Brick et MacDonald. Ainsi, dans ces secteurs, le pourcentage de recouvrement des arbres atteint en moyenne 34%. De composition et de densité forestière différentes, les peuplements au niveau du bassin de la rivière Vauréal sont aussi intensément recouverts de lichens. Les nombreuses tourbières limitent ici la forêt à des massifs boisés discontinus, peuplés surtout de sapin et d'épinette noire. Enfin, des peuplements mixtes où dominant sapins et épinettes blanches à maturité caractérisent le dernier secteur où la densité lichénique moyenne observée atteint 41%.

L'hétérogénéité des régions, due à l'exploitation forestière, au développement agricole, au feu, aux épidémies d'insectes (Jobin & Beaubien, 1974) et à la géomorphologie même du territoire, ne permet pas de les comparer, mais plutôt de dégager une vue globale de la composition forestière en rapport avec la densité lichénique qui recouvre les arbres. L'abondance des genres *Bryoria* et *Alectoria* est reliée à l'âge des essences hôtes et à la densité des peuplements conifériens (fig. 5). L'analyse de variance et l'étude du coefficient de corrélation révèlent de façon très significative que la densité moyenne des lichens par place-échantillon augmente avec l'âge des arbres [(d.l.: 1,105, ($F_{0,05} = 50$) ($r = 0,57$)] et que

TABLEAU I

Densité lichénique des différentes régions étudiées en rapport avec l'âge des arbres et la densité forestière

Régions	Âge des arbres (an)		Densité forestière (arbres/acre)		Densité lichénique (% recouvrement)	
	Nombre d'arbres	Moyenne ± écart-type	Nombre de prismes	Moyenne ± écart-type	Nombre d'arbres	Moyenne ± écart-type
Port-Menier	100	63,4 ± 3,49	22	1139,0 ± 98,09	54	19,2 ± 1,30
Riv. à la Loure	95	82,1 ± 6,40	42	804,7 ± 195,31	93	28,0 ± 2,39
Riv. Jupiter-Brick	175	91,4 ± 1,57	78	581,3 ± 58,79	163	34,3 ± 1,75
Riv. MacDonald-Patate	80	98,5 ± 5,52	38	444,2 ± 76,76	78	33,3 ± 2,83
Riv. Vauréal	45	81,0 ± 10,00	6	271,3 ± 72,09	18	26,3 ± 1,20
Riv. Chaloupe-Saumons	55	105,5 ± 4,97	22	556,8 ± 101,90	67	42,0 ± 2,02

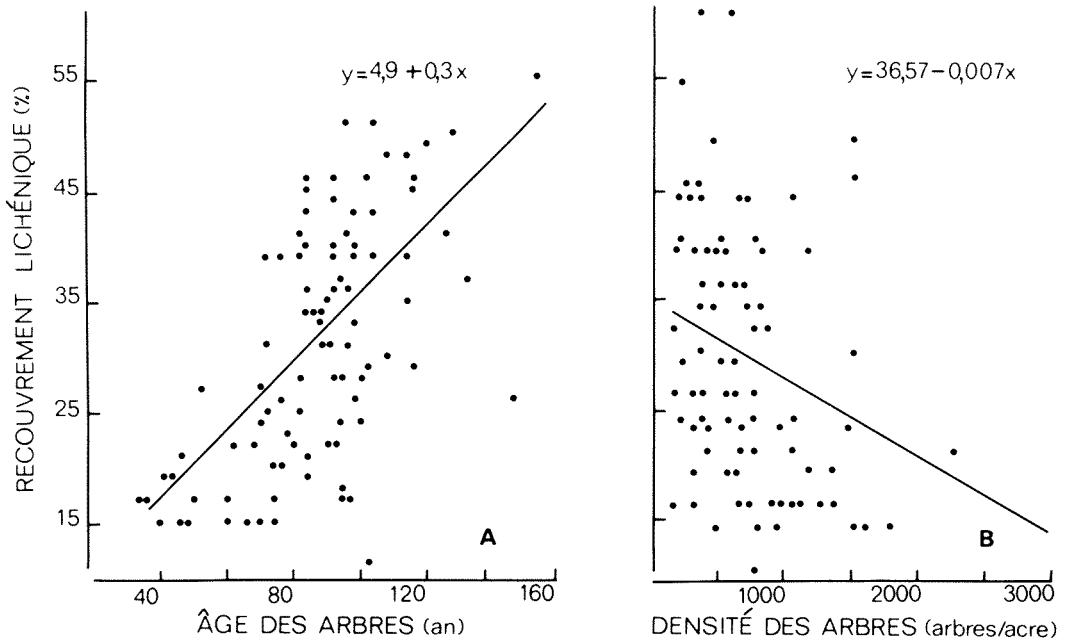


Figure 5. Influence de l'âge (A) et de la densité (B) des essences forestières étudiées sur la densité des lichens. Chaque place-échantillon est représentée par un point indiquant les moyennes de recouvrement lichénique par rapport aux moyennes d'âge des arbres et de densité forestière.

les forêts denses sont moins recouvertes de lichens que les forêts ouvertes [(d.l.: 1,105) ($F_{0,05} = 15$) ($r = -0,36$)]. En plus de ces deux variables, les conditions édaphiques, l'essence forestière et le microclimat seraient des facteurs pertinents à étudier pour expliquer la densité de recouvrement des conifères par les lichens *Bryoria* et *Alectoria*.

Remerciements

Nous remercions le Dr I. M. Brodo, Musée des sciences naturelles, Ottawa, pour son aide dans l'identification des lichens, ainsi que M. Charles Coulombe pour sa collaboration technique. Ce travail a pu être réalisé grâce aux octrois du Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada, subvention N° A-5764.

Références

- AHTI, T. & D. L., HAWKSWORTH, 1974. Notes on the lichens of Newfoundland. 4. *Alectoria*. — Ann. Bot. Fenn., 11: 189-106.
- BRODO, I. M. & D. L., HAWKSWORTH, 1977. *Alectoria* and allied genera in North America. — Op. bot. Soc. bot. Lund., 42: 1-164.
- DAHL, E. & H. KROG, 1973. Macrolichens of Denmark, Finland, Norway and Sweden. — Universitets Forlaget, Oslo, 185 p.
- EDWARDS, R. Y., J. SOOS & R. W. RITCEY, 1960. Quantitative observations on epidendric lichens used as food by caribou. — Ecology, 41: 425-431.
- HALE, M. E. Jr., 1969. How to know the lichens. — Wm. C. Brown Co. Publ., Dubuque, Iowa, 226 p.
- JOBIN, L., 1973. L'arpeuse de la pruche, insecte insulaire. — Centre de recherches forestières des Laurentides, Envir. Canada, Québec, Milieu, n° 7, p. 8-12.
- JOBIN, L. & J. BEAUBIEN, 1974. Capability of ERTS-1 imagery for mapping forest cover types of Anticosti island. — For. Chron., 50: 1-5.
- JOBIN, L. & R. DESAULNIERS, 1980. Résultats des pulvérisations aériennes contre l'arpeuse de la pruche, *Lambdina fiscellaria fiscellaria* (Guén.) à l'île d'Anticosti en 1972 et 1973. — Centre de recherches forestières des Laurentides, Envir. Canada, Rapp. d'Inf. (en préparation).
- LEPAGE, E., 1972. Nouveau catalogue des lichens du Québec. — Naturaliste can., 99: 533-550.

LES POLYTRICHALES DU QUÉBEC : DESCRIPTIONS ET CLÉS ANALYTIQUES

Pierre MASSON

Service de la recherche forestière, Ministère de l'énergie
et des ressources, Complexe scientifique, Sainte-Foy, Québec G1P 3W8

et

Louis PARROT

Département d'écologie et pédologie, Université Laval,
Québec, G1K 7P4

Résumé

L'ordre des Polytrichales comprend au Québec les genres *Atrichum*, *Pogonatum* et *Polytrichum*. Cette étude, qui traite de 15 espèces et de 11 variétés, comprend des descriptions complètes et des clés analytiques.

Abstract

In Québec, the Polytrichales include the genera *Atrichum*, *Pogonatum* and *Polytrichum*. This article contains descriptions and analytical keys to the 15 species and 11 varieties which are recognized.

Introduction

Nous présentons le grand groupe des Polytrichales, plus spécialement les genres *Atrichum*, *Pogonatum* et *Polytrichum*, largement répandus au Québec. Cet article ne consiste pas en une révision du groupe traité; il vise surtout à mettre entre les mains des intéressés les outils nécessaires à la connaissance actuelle, surtout d'ordre morphologique, de ce grand groupe. Il vise à faciliter cette tâche par la présentation d'une nomenclature mise à jour et surtout de clés analytiques construites en insistant de façon primordiale sur les caractères végétatifs. Un spécimen non fructifié pourra alors être déterminé. Nous avons cependant ajouté les caractères des capsules dans l'intérêt du lecteur. En effet, le sporogone est indispensable pour distinguer certaines variétés. Il en est de même de la répartition des gamétanges, caractère utilisé pour déterminer, par exemple, certaines entités du genre *Atrichum*. Il est à noter que la plupart des espèces présentées ici sont dioïques. L'analyse des bourgeons gamétangiaux n'a été retenue qu'au niveau variétal.

Nous avons étudié les caractères de chaque entité au moyen de nos propres ré-

coltes, de spécimens conservés dans des herbiers (QUE, QFA, CAN, MICH) et de pièces confectionnées à partir de matériel frais ou desséché pour étude microscopique. Nous avons rédigé la description de chaque entité et avons ajouté des notes bio-écologiques et systématiques afin de compléter les clés analytiques. C'est là une des raisons pour lesquelles peu de références bibliographiques apparaissent dans le texte, ce qui n'exclut pas, bien entendu, que nous avons tenu compte de l'interprétation des divers auteurs de la taxonomie bryologique tant récente qu'ancienne.

Chaque description se termine par une ou plusieurs références à des illustrations susceptibles d'éclairer le lecteur sur l'allure morphologique des taxionomes en cause. De plus, à la suite de chaque clé analytique, des dessins illustrent les caractères les plus pratiques pour l'identification.

Polytrichales

L'ordre des Polytrichales réunit des mousses à la fois acrocarpes et nématodontes. Le péristome est simple et comprend généralement une série de 64 ou 32 dents, exceptionnellement 16.

L'anatomie de la tige est très diversifiée; la partie souterraine rappelle la racine des Trachéophytes comme l'avaient indiqué, en 1901, Tansley et Chick, la zone corticale étant délimitée à l'intérieur par une assise de cellules à parois pourvues de bandes de Caspari; la partie aérienne, au niveau du tronçon densément feuillé, est très différente de la première et se caractérise surtout par un faisceau axial comprenant des leptoides, des hydroïdes, accompagnés de parenchymes, et par des traces foliaires qui traversent la zone corticale. La feuille des Polytrichales se distingue de celle des autres mousses par la présence de lamelles longitudinales sur la face adaxiale, rarement sur la face abaxiale chez des espèces qui poussent en dehors de notre territoire. Elle devient encore plus complexe dans certains genres, comme *Pogonatum* et *Polytrichum*, puisqu'elle comporte en plus une base engainante de couleur et de structure distinctes.

Plantes croissant sur les terrains secs, humides ou mouillés, de préférence acides, rocheux ou non, siliceux ou limoneux mais généralement non calcaires. Présentes sur les cinq continents, abondantes dans les régions arctiques et tempérées.

Polytrichacées

Les mousses de cette famille se caractérisent par un péristome d'une seule couronne de dents au nombre de 64 ou 32, rarement 16, constituées de cellules en forme de U, par une expansion du sommet de la columelle prenant l'aspect d'un disque membraneux (l'épiphragme) et, enfin, par des feuilles presque toujours engainantes, sauf dans de rares exceptions (*Atrichum*), et pourvues à la face adaxiale, parfois à la face abaxiale, de plusieurs lamelles longitudinales formées de cellules assimilatrices. Le protonéma, persistant chez quelques espèces du genre *Pogonatum*, est évanescent dans la majorité des entités.

Plantes en général de taille moyenne ou robuste, quoique l'on compte parmi elles quelques petites espèces, poussant en touffes isolées ou gazonnantes.

Tige: partie souterraine rhizomorphe, plus ou moins horizontale, parfois divisée et munie de nombreux rhizoïdes; partie aérienne généralement verticale, simple ou bifurquée, triangulaire avec angles arrondis dans le tronçon inférieur, et pentagone souvent sillonnée ou portant des angles rentrants dans le tronçon pourvu de feuilles de grandeur normale.

Feuilles inférieures (cataphylles) réduites, squamiformes dans un bon nombre d'espèces. Feuilles moyennes (nomophylles) situées à mi-hauteur de la tige, longues, comportant, sauf chez les *Atrichum*, deux parties morphologiquement distinctes: une gaine ou base engainante jaune ou transparente, et un limbe ou lame opaque, vert foncé, plus ou moins allongé, acuminé, rarement cucullé; feuille en général entière ou dentée, plane, ascendante ou infléchie, unistratifiée ou bistratifiée surtout à l'apex, unie ou bordée. **Nervure**, mince dans la gaine et large dans le limbe, sauf dans le genre *Atrichum*, démunie de gaine; percurrente à légèrement excurrente, rarement incomplète; face abaxiale plus ou moins arrondie, rarement lamellée chez nos espèces, lisse ou dentée; face adaxiale portant généralement des lamelles longitudinales, unistratifiées et constituées de chlorocystes; ces cellules vues en coupe transversale sont disposées en file et le nombre et la forme des terminales servent souvent de critères pour la détermination des espèces.

Péripone terminal, cyathiforme, discoïde ou en rosette, au centre duquel émergent fréquemment des rameaux innovants; anthéridies cylindriques, allantoïdes ou claviformes à pied large et court, un peu courbé vers l'axe. **Paraphyses** nombreuses, filamenteuses ou capitées. **Feuilles périponiales** imbriquées, ovales, obovales, elliptiques à orbiculaires, obcordées ou tronquées, mais terminées par une pointe présentant à peu près les mêmes contours chez *Atrichum* alors que celles des espèces à base différenciée sont remarquables par l'ampleur de leur gaine et aussi par leur limbe extrêmement réduit qui prend l'aspect d'un petit triangle allongé et simulant un acumen.

Périchète terminal, ovoïde, turbiné, en forme de rosette ou sans forme particulière; archégones allongés, ventrus dans la partie inférieure, à col long et étroit, puis à pied court, subsessile. **Paraphyses** rares ou peu nombreuses, sauf chez les *Atrichum*, ténues, disparaissant souvent au début de la sporogonèse. Feuilles périchétales à peu près semblables aux feuilles normales, plus ou moins longues et en général plus étroites.

Calyptre cucullée, recouverte de poils denses et retombants (*Polytrichum*, *Pogonatum*), ou encore glabre ou presque et alors ornée de quelques poils droits (*Atrichum*). **Soie** longue dans la majorité des espèces, lisse, munie ou dépourvue d'apophyses. **Capsule** dressée à horizontale, rarement inclinée et actinomorphe. **Opercule** conique, convexe, en forme de dôme surbaissé, surmonté d'un bec court ou long, droit ou courbé. **Anneau** absent ou rudimentaire. **Urne** ovale, cylindrique ou prismatique; dans ce dernier cas, tétraèdre, pentagone ou hexagone; cellules de l'exothécium sub-carrées, rectangulaires, polygones ou linéaires, lisses ou mamilleuses et portant parfois une petite tache centrale («thin spot») à paroi étroite ou large, épaissie ou non aux angles. **Péristome**: une seule couronne comprenant 64 ou 32 dents exceptionnellement 16), soudées à l'épiphragme avant la maturité de la capsule; membrane basale courte ou longue selon les espèces.

Spores sphériques lisses ou légèrement papilleuses lorsque vues par transparence à un grossissement moyen (320X) mais pouvant, selon

Miyoshi (1969), paraître granuleuses au microscope électronique à balayage.

Clé de détermination des genres

- A. Feuille¹ dépourvue de gaine, délimitée par un bord (bi- ou tristratifié) formé de cellules allongées et munie de dents doubles; limbe portant généralement 1-7 lamelles, parfois 0, exceptionnellement 8; calyptra glabre ou ornée de quelques poils dressés au sommet *Atrichum*
- A. Feuille¹ pourvue d'une gaine nette, hyaline ou jaunâtre, et d'une marge unistratifiée, rarement bistratifiée, puis entière ou ornée de dents simples; limbe possédant 10-60 lamelles; calyptra densément velue de poils retombants B
- B. Feuilles jamais entières (arête exclue); cellule terminale des lamelles ornée la plupart du temps de grosses papilles; capsule cylindrique ou cylindrique-ovoïde *Pogonatum*
- B. Feuilles entières ou dentées; dans ce dernier cas, cellule terminale des lamelles dépourvue de grosses papilles; capsule anguleuse *Polytrichum*

ATRICHUM P. Beauv., Mag. Encycl., 5:329. 1804. *Nom. cons.*

Catharinaea Ehrh. ex Web. & Mohr, Obs. Bot., 31, 1803. *Nom. rejic.*

Monoecie, dioecie ou polyoecie. Plantes molles en touffes lâches, isolées, placardant la strate muscinale, quelquefois gazonnantes, petites à robustes, souvent de taille moyenne, brunissant avec l'âge en commençant par la base.

Tige aérienne simple ou rarement divisée, dressée, naissant sur un système souterrain rhizomateux et ramifié, couverte de rhizoïdes dans la partie inférieure; en coupe transversale, une zone corticale comprenant une assise superficielle, 1-3 couches de stéréïdes, et plus à l'intérieur, un anneau épais constitué de plusieurs cellules de parenchyme non disposées en couches, enfin au centre, un faisceau axial ou cordon conducteur formé surtout d'hydroïdes.

Feuilles petites, écailleuses, distantes à la base, devenant grandes et serrées au sommet, étalées-dressées ou ascendantes, ondulées transversalement à l'humidité, puis crispées et tordues à l'état sec, surtout dans le haut, ovales, ovales-lancéolées, linéaires-lancéolées, lingulées à sommet arrondi, aigu ou obtus, dépourvues de gaine, peu ou pas décurrentes ou encore décurrentes d'un côté seulement, généralement bordées par des cellules allongées et étroites, disposées sur 1-3 étages; contour pourvu de dents simples ou géminées, du sommet jusqu'à la mi-hauteur, ou au tiers inférieur; ailes du limbe munies dorsalement de dents spinuleuses, parfois soudées à la base, situées sur le dos des ondulations, souvent orientées obliquement par rapport à la médiane; nervure portant sur la face ventrale 1-12 lamelles longitudinales unistratifiées, composées de 1-10 rangées de chlorocystes, plus ou moins uniformes, les terminaux différant peu des autres par leur forme et leur paroi externe; celle-ci pourvue

de dents à la face dorsale, dans le tiers supérieur ou au moins vers le sommet.

Feuilles périgoniales nettement distinctes chez les plantes dioïques, obovales à orbiculaires, disposées de façon à former une corbeille entourant les anthéridies. Dans le bourgeon anthéridial une innovation peut être émise et produire une seconde corbeille identique à la précédente. Dans le cas des plantes monoïques, il arrive parfois qu'une innovation naissant d'un bourgeon anthéridial porte l'année suivante un gynécée. Feuilles périchétiales à peu près semblables aux feuilles normales mais plus longues et relativement plus étroites.

Calyptra étroitement cucullée, fissurée à la base, glabre ou poilue seulement au sommet. Soie 1,0-7,0 cm de long, jaune, brun rougeâtre, droite ou légèrement flexueuse, terminée sous l'urne par un col non renflé; 1-3 par périchète chez nos espèces.

Capsule brun rougeâtre, brun châtain, brun pourpre, inclinée à horizontale, parfois dressée ou presque. Opercule à base convexe à hémisphérique débordant souvent de l'orifice, muni d'un rostre long (1/2 à 1 fois la longueur de l'urne), faiblement courbé et orienté dans le sens de l'oblique, anneau nul. Épiphragme pâle, couvrant entièrement la columelle. Urne 1,5-7 mm de long, droite ou légèrement courbée. Exothèque dépourvue de stomates, caractérisée par des cellules carrées à subrectangulaires, montrant des parois épaisses longitudinalement et minces transversalement; sous l'ouverture les cellules deviennent plus petites et très foncées, leurs parois sont alors uniformes et étroites. Péristome simple, généralement pourvu de 32 dents, mais contenant quelquefois des dents supplémentaires assez réduites, intercalées dans les espaces situés entre les dents normales; les dents sont non articulées,

¹ Feuille prélevée à mi-hauteur de la tige et examen des lamelles effectué à mi-hauteur de la feuille.

pâles, jaunes à brun orangé au milieu, hyalines sur les bords, papilleuses ou lisses; membrane basilaire orangée à brun rougeâtre, courte ou haute, dépassant rarement le tiers de la longueur du péristome.

Spores, diamètre 10-23 μm , globuleuses, ovales, ellipsoïdes, lisses à légèrement papilleuses.

Il n'existe pas de sections validement décrites pour ce genre.

Clé de détermination des espèces (fig. 1-4)

- A. À la mi-hauteur de la feuille (prélevée à mi-hauteur de la tige), nervure et lamelles occupant au moins du $\frac{1}{3}$ aux $\frac{2}{5}$ de la largeur du limbe; moyenne de longueur des cellules subterminales (les marginales et les adjacentes à la nervure exclues) variant de 12 à 17 μm et dépassant rarement 18 μm 4. *Atrichum angustatum* (Brid.) B.S.G.
- A. À mi-hauteur de la feuille, nervure et lamelles ne couvrant pas plus que le $\frac{1}{5}$ de la largeur du limbe; moyenne de longueur des cellules subterminales dépassant 18 μm et oscillant entre 18 et 32 μm B
- B. Feuille ovale-oblongue ou oblancéolée, rarement linguée-lancéolée; limbe constitué de cellules à parois minces peu épaissies aux angles, puis édenté sur la face dorsale ou encore muni au plus de 1 à 2 dents dans la moitié supérieure; capsule courte, 2-3,5 mm C
- B. Feuille linguée ou lancéolée; limbe formé de cellules collenchymateuses et pourvu, à la face dorsale, de nombreuses dents souvent disposées en rangées; capsule longue, 4-9 mm 3. *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv.
- C. Petites papilles verruqueuses ou nettement striées sur la cuticule des cellules du bord et des dents du contour du limbe; lamelles peu élevées, comprenant 1 à 2 cellules de hauteur, rarement 3; plante de taille moyenne, 1-5 cm de haut; calyptra fissurée et poilue au sommet; assez fréquent 1. *Atrichum crispum* (James) Sull. & Lesq.
- C. Petites papilles verruqueuses indistinctes sur la cuticule des cellules du bord et des dents du contour du limbe (pouvant cependant être présentes sur les marges de la moitié supérieure des feuilles écailleuses de la base de la tige); lamelles élevées, comprenant 4-9 cellules de hauteur, exceptionnellement 3 chez les individus grêles; petite plante de 0,5-1,5 cm de haut; calyptra glabre ou presque; rare 2. *Atrichum tenellum* (Röhl.) B.S.G.

1. *ATRICHUM CRISPUM* (Jam) Sull. & Lesqu., Musci Bor. Am.: 44. 1856.

Catharinea crispa Jam., Proc. Ac. Nat. Sc. Philadelphia, 7:445. 1855.
Catharinea crispa var. *densifolia* Lindb., Not. Saellsk. F. Fl. Fenn. Foerh., 9:150. 1868.

Dioecie. Mousse petite ou de taille moyenne, cespiteuse, vert jaunâtre, brunissant vers la base et aussi avec l'âge. Plantes mâles disposées en groupe à part, généralement plus hautes que les plantes femelles.

Tige aérienne longue de 1-5 cm, simple, dressée, émise d'une tige souterraine, bifurquée et rhizomateuse.

Feuilles, mesurant 6-8 mm \times 0,8-1 mm, variant progressivement de la base au sommet, étalées-dressées et peu ondulées à l'humidité, fortement crispées à la dessiccation, obovales à oblongues-lancéolées, se terminant ordinairement par une pointe courte, aiguë ou émoussée; les inférieures squamiformes, papilleuses, obovées et arrondies au sommet, contour orné du sommet à la $\frac{1}{2}$ ou aux $\frac{2}{3}$ de la longueur de dents spinuleuses dont quelques-unes sont disposées par paires; lame

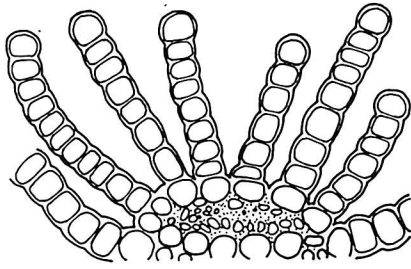
contenant sur la face abaxiale 1-3 dents spinuleuses réparties dans le haut, rarement dans la partie inférieure. Nervure robuste, occupant à la mi-hauteur les $\frac{1}{10}$ - $\frac{1}{11}$ de la largeur de la feuille, subpercurrente à excurrente, portant sur la face adaxiale 0-4 lamelles constituées de 1 à 2 rangs de cellules, parfois 3, lisse à la face abaxiale ou munie de quelques dents vers le haut. Cellules laminales à parois lisses, peu collenchymateuses, les médianes situées à la mi-hauteur, grandes, mesurant 30-40 μm , ayant tendance à devenir plus longues dans le sens transversal; cellules basilaires légèrement enflées, à parois minces, oblongues-arrondies à rectangulaires, relativement larges au milieu et se rétrécissant vers la marge.

Bourgeon gamétangial ne produisant qu'un sporogone à la fois, rarement 2 ou 3.

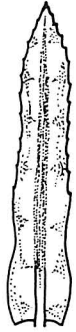
Calyptra, 3,5-4 mm de long, fissurée et poilue au sommet. Soie mesurant 1,5-2,5 cm, brun châtain ou orangé, brillante, tournée vers la gauche. Capsule, 3-5 mm de long, ovale ou subcylindrique, oblique ou presque dressée, droite ou légèrement courbée; cellules de l'exothécium sub-



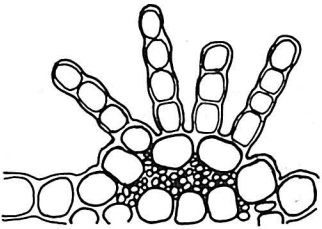
1



1a



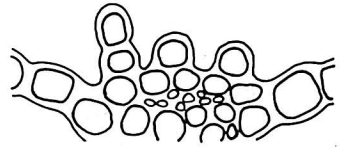
2



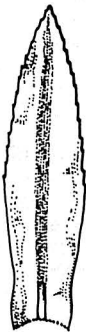
2a



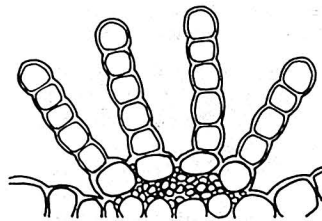
3



3a



4



4a

Figures 1-4. Dessins de feuilles (environ 10X) et de coupes transversales de feuilles (200X) montrant les lamelles à mi-hauteur de la feuille chez *Atrichum*. Fig. 1 et 1a, *A. angustatum*. Fig. 2 et 2a, *A. undulatum*. Fig. 3 et 3a, *A. crispum*. Fig. 4 et 4a, *A. tenellum*.

carrées ou rectangulaires ayant des parois longitudinales plus larges que les parois transversales; stomates absents. *Urne* 3-4 sur 1. *Opercule* conique muni d'un rostre aussi long que l'urne. *Péristome* formé de 32 dents inégales et étroites; membrane basilaire courte, rudimentaire, émettant parfois, selon Nyholm (1971), de petites dents intercalaires dans l'espace situé entre les dents normales.

Spores lisses, 16-23 μm .

Rivage des cours d'eau, sur le sol humide.

Illustrations: Jennings, 1951, pl. LXIV; Sullivant, 1969, pl. 46; Grout, 1972, vol. 1, pl. 53A.

2. *ATRICHUM TENELLUM* (Röhl.) B.S.G., Bry. Eur., 4: 237 (fasc. 21-22, Mon. 9). 1844.

Catharinea tenella Röhl., in Ann. Wetterau Ges., 3(2): 234. 1814.

Catharinea mollis Holz., Musc. Acroc. Bor. Am.: 48. 1904.

Atrichum crispum (James) Sull. & Lesq. var. *molle* (Holz.) Frye in Grout, Moss Fl. N. Am., 1: 102, pl. 53, fig. 11-13. 1937.

Dioecie. Plante de petite taille en touffes plus ou moins lâches, vert mat à vert brunâtre.

Tige courte, 5-15 mm de long, simple, émise par un système rhizomateux très ramifié.

Feuilles dressées-étalées et pratiquement pas ondulées à l'humidité, courbées et crispées à la dessiccation, ovales-lancéolées puis étroites à la base, aiguës ou subaiguës, rarement obtuses, marge bistratifiée et pourvue de dents simples ou gémminées dans la moitié supérieure et parfois au-dessus; les inférieures très courtes, ovales et non rétrécies à la base, obtuses et faiblement dentées. *Nervure* soutenant 2-4 lamelles composées de 5-9 rangées de cellules (3-5 chez les spécimens grêles) papilleuses sur la face abaxiale, munies de dents d'abord faibles puis devenant spinuleuses près du sommet. Cellules du limbe à parois peu épaissies aux angles, grandes et hexagonales près de la nervure, petites et quadratiques vers les bords; cellules basilaires rectangulaires, courtes, disposées en files longitudinales et plus larges que celles de la mi-hauteur; cuticule des feuilles normales dépourvue de papilles ou de stries, mais Nyholm (1971) prétend que l'on peut en trouver dans la moitié supérieure des feuilles du bas.

Calyptre glabre ou presque, papilleuse au sommet, égalant ou dépassant la capsule, persistante. *Soie* 1-2 cm de long, jaunâtre à brun rougeâtre, légèrement tournée dans le haut vers la droite à la dessiccation. *Capsule* courte, 2-3,5 mm, oblique à horizontale légèrement asymétrique. *Opercule* conique pourvu d'un rostre oblique ou légèrement courbé, presque aussi long que l'urne. *Urne* ovale-cylindrique; cellules de l'exothécium subcarrées à rectangulaires avec angles arrondis et grands côtés un peu plus épaissis. *Péristome*: 32 dents longues, hyalines et papilleuses, membranes basilaires peu élevées.

Spores 15-20 μm de diamètre, papilleuses.

Lieux ouverts, friches, sur sol sableux, bordure des routes, des lacs et des rivières, parfois en forêt. Rare, quelques mentions pour le Québec.

Illustration: Nyholm, 1971, fig. 2.

3. *ATRICHUM UNDULATUM* (Hedw.) P. Beauv., Prodr.: 42. 1805.

Polytrichum undulatum Hedw., Sp. Musc.: 98. 1801.

Monoecie, dioecie ou polyoecie. Plantes en touffes lâches, parfois gazonnantes, d'un vert foncé et mat.

Tige aérienne 1,5-6(-8) cm de long, dressée, simple, rarement divisée mais naissant sur un système rhizomateux et ramifié.

Feuilles, les plus grandes mesurant 5-9 mm; très réduites et squamiformes sur le tronçon inférieur de la tige, à forme variant progressivement de la base au sommet; en général distantes et étalées-dressées; les supérieures très ondulées dans le sens transversal à l'humidité, crispées à la dessiccation, linguées-lancéolées, longuement ou brièvement acuminées, pointues se terminant souvent par une dent semblable à celles du pourtour, ces dernières étant gémminées, exceptionnellement simples puis présentes dans la $\frac{1}{2}$ supérieure et parfois jusqu'au $\frac{1}{3}$ inférieur, plus ou moins décurrentes ou encore décurrentes d'un seul côté; marge bistratifiée limitant le limbe par 2 ou 3 files de cellules; lame ornée dorsalement de nombreuses dents plus ou moins disposées en rangées sur les ondulations dans la moitié supérieure. *Nervure* portant sur la face adaxiale 3-4 lamelles, rarement 2, quelquefois 6, constituées de 3-5 rangées de cellules, occasionnellement 2; papilleuse sur la face abaxiale surtout vers le bas et munie de plusieurs dents parfois gémminées dans le tiers supérieur. *Cellules* médianes lisses, collenchymateuses, rectangulaires-hexagonales, 18-27 \times 27-30 μm , plus ou moins ordonnées, devenant un peu plus alignées longitudinalement près de la marge; cellules basilaires rectangulaires, plus étroites, distinctement alignées et montrant à la face dorsale des stries nettes sur la cuticule. *Feuilles périgoniales* ovales-elliptiques, subcordées, disposées en forme de coupe. *Feuilles périchétiales* semblables aux feuilles normales mais plus étroites à la base.

Calyptre lisse sauf au sommet, couvrant le $\frac{1}{3}$ à la $\frac{1}{2}$ de la capsule. *Soie* 1-3 cm, jaunâtre à pourpre, flexueuse, légèrement tournée par le sec vers la gauche dans le haut, 1 à 3 par périchète. *Capsule* 4-8 mm, inclinée, subarquée à fortement arquée, parfois dressée et presque droite. *Opercule* à base convexe, pourvu d'un long rostre, effilé et courbé égalant $\frac{1}{2}$ aux $\frac{2}{3}$ de la longueur de l'urne. *Urne* 2-5 mm, cylindrique, un peu rétrécie sous l'orifice, d'abord châtaine et lustrée puis devenant brun rougeâtre et mat à la fin; cellules de l'exothécium allongées rectangulaires avec grands côtés très larges, situés dans le sens de la médiane et petits côtés relativement minces. *Péristome*: normalement 32 dents mais pouvant

avoir des dents supplémentaires plus ou moins développées, linéaires-lancéolées, jaunâtres à brunâtres, papilleuses à bord hyalin; hauteur de la membrane basale égalant environ la moitié de la hauteur des dents.

Spores 15-21 μm , globuleuses à ovoïdes, lisses ou presque.

Dans les lieux ombragés ou exposés, sur roches, sur sol et parfois sur vieilles souches.

Illustrations: Nyholm, 1971, fig. 10; Husnot, 1967, tableau LXXVI.

Le groupe de l'*Atrichum undulatum* réunit des individus dont le nombre de chromosomes s'avère très varié. Il comprend en réa-

lité plusieurs taxionomes. Pour le Québec, nous en reconnaissons deux, qui, cependant, ont été élevés au rang spécifique par d'éminents bryologues: il s'agit d'*A. altecrisatum* (Ren. & Card.) Irel. et *A. oerstedianum* (C. Müll.) Mitt. Néanmoins ces coupures, qui paraissent valables, devront être mieux délimitées à la suite de nouvelles recherches: nous n'arrivons pas toujours à les distinguer facilement par leurs caractères morphologiques. La limite de ces deux entités n'étant pas aussi précise que nous serions tentés de le croire, nous préférons alors les traiter sous le rang variétal.

- A. Présence de rhizoïdes blanchâtres (très perceptibles à la loupe) traversant le tomentum brun rougeâtre de la tige; capsule très courbée; plante dioïque et croissant dans les endroits mouillés et ombragés 3a. *Atrichum undulatum* var. *oerstedianum* (C. Müll) Mitt.
- A. Tomentum, si présent, dépourvu de rhizoïdes blanchâtres; capsule droite ou presque, plante monoïque habitant les lieux secs ou mésophiles, ouverts ou semi-ombragés 3b. *Atrichum undulatum* var. *altecrisatum* Ren. & Card.

3a. *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv. var. *oerstedianum* (C. Müll.) Crum, *Bryologist*, 74:166. 1971.
Catharinea oerstediana C. Müll., *Syn. Musc. Frond.*, 2: 558. 1851.
Atrichum oerstedianum (C. Müll.) Mitt., *Jour. Linn. Soc. London, Bot.*, 12:605. 1869.
Atrichum paraphyllum Wareh., *Bryologist*, 49:85. 1949.

Dioecie. Individus mâles et femelles sensible- ment de même grandeur. Mousses de taille moyenne, vert clair à vert foncé, sans lustre, brunissant en vieillissant surtout à la base.

Tige 2-4 cm de long, couverte de tomentum brun rougeâtre entremêlé de rhizoïdes blanchâ- tres; en coupe transversale, une zone corticale constituée de cellules étroites à parois épaisses non disposées en couches définies, et un faisceau axial présent et bien développé.

Feuilles crispées et tordues à la dessiccation, difficiles à décriper ou à détendre même à l'ébullantage, ondulées transversalement à l'hu- midité, lamellées ventralement, sauf dans le $\frac{1}{10}$ inférieur, pourvues de dents simples ou doubles du sommet à la mi-hauteur et quelquefois au-delà, bordées par 2 ou 3 files de cellules étroites et allongées; peu ou pas décurrentes, à marge bi- stratifiée. *Lame* pourvue dorsalement de dents spinuleuses situées sur les ondulations transver- sales et plus ou moins alignées obliquement par rapport à la nervure. *Nervure* percurrente ou sub- percurrente, munie à la face adaxiale de 4-6 lamelles de 2-4 rangs de cellules, exceptionnelle- ment 6. *Cellules* généralement lisses sauf les basilaires qui sont verruqueuses ou striées, les subterminales mesurant environ 15-21 \times 12- 15 μm ; cellules médianes rondes ou polyédri- ques à parois épaissies, du moins aux angles,

12-18 \times 12-31 μm ; cellules basilaires rectangu- laires à parois minces. *Feuilles périchétiales* semblables aux normales. *Feuilles périgoniales* ovales à orbiculaires, disposées en forme de coupe au centre de laquelle une innovation appa- raitra et produira une autre andrécie.

Calyptre poilue au sommet. *Soie* 2-4 cm de long, brun pâle, lisse, courbée soit à la base soit au sommet, tournée vers la droite, 2-3 par péri- chète. *Capsule* brun châtain à brun rougeâtre, longue et étroite, légèrement courbée à la base. *Opercule* à base en forme de coupole, surmonté d'un rostre long et oblique. *Anneau* absent. *Péris- tome* simple, formé de 32 dents. *Urne*, 6,5-7 mm de long, faiblement mais régulièrement striée, dé- pourvue de stomates.

Spores, diamètre 12-17 μm , globuleuses à ovoï- des, lisses ou légèrement papilleuses.

Plante généralement ombrophile se dévelop- pant dans les lieux humides, notamment les bords des tourbières, des ruisseaux et des rivières.

Illustrations: Frye, 1948, fig. 1-18; Ireland, 1969, fig. 3, 16, 17, 24 et 25.

- 3b. *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv. var. *altecrisatum* Ren. & Card., *Bot. Gaz.*, 15:58. 1890.
Catharinea mollis Holz., *Musc. Acroc. Bor. Am.*: 48. 1904.
Catharinea undulata (Hedw.) Web. & Mohr var. *alleganiensis* Jenn., *Man. Moss. W. Penssylv.* 188. 1913.
Atrichum crispum (Jam.) Sull. & Lesq. var. *molle* (Holz.) Frye in Grout, *Moss Fl. N. Am.*, 1:102. 1937.
Atrichum altecrisatum (Ren. & Card.) Irel., *Can. Jour. Bot.*, 47: 353-368. 1969.
Atrichum selwynii Aust. *altecrisatum* (Ren. & Card.) Nyholm, *Lindbergia* 1:33. 1971.

Autoecie ou polyoecie. Touffes lâches, vert pâle à vert foncé, ternes brunissant avec l'âge.

Tige 1,5-4 cm de long, simple, exceptionnellement bifurquée, naissant d'une base rhizomateuse ramifiée; triangulaire avec angles arrondis, ornée dans la partie inférieure de rhizoïdes bruns; en coupe transversale 2-5 assises de stéréides plus ou moins ordonnées à la périphérie, au centre un faisceau axial très développé à parois épaissies et enfin une zone intermédiaire formée de parenchyme.

Feuilles, 2-8 × 1,5-2 mm, étalées-dressées et ondulées transversalement à l'humidité, tordues, crispées par le sec, les inférieures obovales à ovales-lancéolées, les autres lingulées à lancéolées, pouvant se terminer par une pointe courte, émoussée ou aiguë, peu ou pas décurrente, bordées par 2-3 séries de cellules allongées et étroites; contour muni de dents simples ou gémées du sommet à la mi-hauteur ou au tiers inférieur; limbe bistratifé à la marge. *Nervure* percurrente, subpercurrente ou incomplète, ornée dorsalement dans la moitié supérieure de dents nombreuses au sommet mais dispersées vers le bas, et supportant 4-6 lamelles, exceptionnellement 8, formées de 4-6 cellules superposées, parfois 9. L'ensemble constitué par la nervure et ses lamelles occupe $\frac{2}{10}$ - $\frac{3}{10}$ de la largeur du limbe au niveau de la mi-hauteur. *Lames* pourvues dorsalement de dents simples ou gémées (et dans ce dernier cas soudées à la base), situées sur le dos des ondulations et disposées obliquement par rapport à la nervure. *Cellules* en général collenchymateuses, lisses ou légèrement verruqueuses vers le bas du limbe, souvent striées dorsalement; cellules du sommet mesurant 18-21 × 10-12 μm , cellules médianes hexagonales-polyédriques 14-21 μm , cellules basales un peu plus larges, rectangulaires près de la nervure, également rectangulaires à la marge et quadratiques au milieu du demi-limbe. *Feuilles périchétiales* à peu près semblables, plus étroites et plus longues que les feuilles normales.

Calyptra étroite, poilue au sommet. *Soie* 1-4 cm de long, brun à rougeâtre, 1-3 par périchète. *Capsule* cylindrique, inclinée à subdressée. *Opercule* convexe pourvu d'un rostre long et dressé. *Péristome* composé de 32 dents papilleuses; membrane basale assez haute pour le groupe.

Spores, diamètre 12-15 μm , globuleuses à ovales, légèrement rugueuses.

En forêt et aussi dans les lieux ouverts, sur sol humide, sableux ou schisteux ou encore sur roches.

Illustrations: Ireland, 1969, fig. 6, 9, 12, 14, 15, 21 et 23.

3c. *Atrichum undulatum* var. *undulatum*

Cette entité polyoïque, mais à forte tendance dioïque, qui vit dans des habitats secs, souvent rudéraux, est la plus xérophyte des trois variétés. On la caractérise par une taille plus petite, des

feuilles portant 2 à 4 lamelles, exceptionnellement 6 et surtout une capsule courte, oblique ou horizontale, très courbée. Abondante et bien dispersée en Europe, puis mentionnée par Frye (in Grout, 1972) pour l'est du Canada, elle a été, selon Ireland (1969), souvent confondue en Amérique avec *Atrichum undulatum* var. *oerstedianum*. Sa présence dans le Québec reste à établir.

4. *ATRICHUM ANGUSTATUM* (Brid.) B.S.G., Bry. Eur., 4:237 (fasc. 21-22, Mon. 9). 1844.

Polytrichum angustatum Brid., Sp. Musc., 1:79. 1806.

Catharinea xanthopellma C. Muell., Flora, 56:482. 1873.

Atrichum xanthopellma (C. Muell.) Jaeg., Ber. S. Gall. Naturw. Ges., 1873-74: 243. 1875.

Catharinea macmillanii Holz., Minnesota Bot. Stud., 3:120. 1903.

Catharinea mollis Holz., Musc. Acroc. Bor. Am: 48. 1904.

Catharinea papillosa Jenn., Man. Moss. W. Pennsylv.: 190, 27. 1913.

Catharinea plurilamellata Jenn., Man. Moss. W. Pennsylv.: 191, 27. 1913.

Catharinea undulata (Hedw.) Web. & Mohr var. *alleganiense* Jenn., Man. Moss. W. Pennsylv.: 188, 26. 1913.

Dioecie. Plantes en touffes lâches, de taille moyenne, rarement robustes, d'un vert olive foncé et mat devenant brun rougeâtre en vieillissant.

Tige, 1-5 cm de long, simple mais naissant sur un système rhizomateux ramifié; montrant, en coupe transversale, un axe central présent et très développé et une zone corticale constituée d'assises de cellules étroites à parois épaissies.

Feuilles assez régulièrement distantes de grandeur variable selon leur disposition sur la tige, très réduites à la base devenant plus grandes à mesure qu'elles se rapprochent du sommet, les terminales mesurant 3-5 mm de long par 0,6-8 mm, étroites, triangulaires-lancéolées ou lingulées, obtuses ou aiguës, légèrement ondulées à l'humidité dans le sens transverse puis fortement involuées et crispées à l'état sec. *Marge* ornée de dents dans la $\frac{1}{2}$ ou le $\frac{1}{3}$ supérieur, généralement gémées. *Lame* munie dorsalement de dents disposées plus ou moins obliquement par rapport à la nervure. *Nervure* percurrente ou subpercurrente, portant sur la face adaxiale environ 6 lamelles, parfois plus, jusqu'à 10, dont chacune est constituée d'une file de 6-10 cellules, et montrant à la face abaxiale, dans le tiers supérieur, des dents très nombreuses vers le sommet et dispersées vers le bas. *Nervure* et lamelles occupant à la mi-hauteur $\frac{1}{3}$ - $\frac{2}{5}$ de la largeur du limbe. *Cellules* du sommet de la feuille petites, 7-18 μm , exceptionnellement 20, hexagonales-arrondies; cellules médianes, dimensions 9-16 × 9-16 μm , collenchymateuses, hexagonales-arrondies ou subcarrées-hexagonales à mi-distance entre la marge et la nervure, rectangulaires-hexagonales; cellules basales rectangulaires-allongées à parois plus ou moins épaissies. *Feuilles périgoniales* disposées en coupe, ovales à spatulées, parfois subtronquées à la base, munies de courtes la-

nelles dans la partie supérieure. *Feuilles périchétiales* semblables aux feuilles normales mais plus longues et plus étroites, le tout disposé de façon à former une coupe très nette.

Calyptra cucullée, étroite, fissurée au 1/3 de sa longueur, hérissée de poils au sommet. *Soie* 1,0-3,5 cm de long, jaune à brun pourpre, dressée, peu flexueuse. Généralement 1 sporogone par périchète. *Capsule*, 3-6 mm de long, brun pourpre, dressée ou légèrement inclinée. *Opercule* à base convexe muni d'un bec courbé, assez long mais plus court que celui des autres espèces. *Urne* étroitement cylindrique, symétrique ou presque. *Péristome* formé de 32 dents régulières obtuses; membrane basale bien développée.

Spores, diamètre 14-18 µm, sphériques ou faiblement rugueuses. Sporaison automnale.

Dans les bois, parfois les lieux semi-ombragés, sur sol argileux, schisteux ou sableux.

Illustrations: Crum, 1976, fig. 985-986; Jennings, 1952, pl. XXXI; Grout, 1972, vol. 1, pl. 54 A-C (comprenant les var. *plurilamellatum*, *papillosum* et *macmillanii*).

POGONATUM P. Beauv., Mag. Enc., 5:329. 1804.

Dioecie. Plantes femelles égalant les plantes mâles, ou plus grandes. Végétaux rigides, en touffes lâches, grégaires ou isolées, vert mat, brunissant avec l'âge en commençant par la base.

Tige brun rougeâtre, courte à longue, simple ou rameuse, triangulaire dans le tronçon inférieur, obtusément triangulaire et anguleuse dans les parties moyenne et supérieure; tige mâle souvent prolongée par un rameau innovant.

Feuilles à la base petites, squamiformes, plus ou moins distantes devenant successivement plus grandes et rapprochées vers le haut, les moyennes et les subterminales serrées, dressées à étalées à l'humidité, imbriquées ou apprimées, étalées-dressées au sommet puis courbées, parfois crispées ou tordues à la dessiccation, lancéolées à linéaires-lancéolées, dentées ou denticulées, munie d'une gaine large, plus ou moins longue, ovée à obovée, marge plane ou incurvée. *Nervure* étroite dans la gaine, large dans le limbe, percurrente à excurrente, ordinairement pourvue de dents vers le sommet sur la face abaxiale et portant 10-55 lamelles longitudinales, unistratifiées, formées de 2-8 rangées de cellules assimilatrices, les terminales (vues en coupe transversale) élargies, à paroi externe épaissie et papilleuse ou rarement de même dimension, alors à paroi externe mince et lisse. *Cellules* au sommet quadratiques ou isodiamétriques et dans la gaine allongées, à parois minces. *Feuilles périgoniales* disposées en forme de coupe ou de bourgeon, ovales, obovales ou tronquées, à gaine développée et limbe réduit, denté, apiculé ou cuspidé. *Feuilles périchétiales* pourvues d'une longue gaine et d'un limbe assez court.

Calyptra jaune pâle à crème, pourvue de poils denses, longs et retombants. *Soie* jaune, brune ou rougeâtre, robuste, longue et lisse; apophyse nulle ou présente avec ou sans stomates. *Capsule* jaune verdâtre, brune à rougeâtre, dressée ou subdressée, et droite. *Opercule* convexe ou conique et muni d'un bec plus ou moins long. *Epiphragme* discoïde. *Urne* dépourvue d'angles, ovale, ovale-oblongue à ovale-cylindrique; cellules de l'exothécium à paroi épaissie, généralement mamilleuse. *Péristome*: 32-55 dents jaunes à brun jaunâtre, plus foncées vers le milieu, papilleuses; membrane basale plus ou moins élevée.

Clé de détermination des espèces (fig. 5-8)

- A. Cellule terminale des lamelles, vue en coupe transversale, ne différant pas sensiblement des cellules inférieures et munie d'une paroi externe mince et lisse; lamelles rarement plus de 15; protonéma persistant; tige toujours simple 1. *Pogonatum pensilvanicum* (Hedw.) P. Beauv.
- A. Cellule terminale beaucoup plus grande que les autres de la même file, et à paroi externe très épaissie, papilleuse; limbe portant 25-55 lamelles à la mi-hauteur; tige simple ou bifurquée B
- B. Cellule terminale subrectangulaire, plus large que longue, le grand côté étant disposé dans le sens transverse, face externe plane 2. *Pogonatum dentatum* (Brid.) Brid.
- B. Cellule terminale globuleuse, ellipsoïde à pyriforme, plus longue ou pratiquement aussi longue que large, face externe convexe C
- C. Cellule terminale globuleuse; cavité cellulaire elliptique; péristome 32 dents; col dépourvu de stomates 3. *Pogonatum urnigerum* P. Beauv.
- C. Cellule terminale ovale-conique à pyriforme; cavité cellulaire également pyriforme; péristome 42-62 dents; stomates présents sur le col 4. *Pogonatum alpinum* (Hedw.) Röhl.

Section *Pogonatum*1. *POGONATUM PENSILVANICUM* (Hedw.) P. Beauv., Mém. Soc. Linn. Paris, 1:461. 1823.

Polytrichum pensilvanicum Bartram ex Hedw., Sp. Musc.: 96, pl. 21, fig. 1-6. 1801.
Pogonatum tenue Rau & Herv., Cat. N. Am. Musci: 30. 1880.

Dioecie. Plante en petites touffes plus ou moins rapprochées, vert olivâtre à brun foncé. Protonéma très développé et persistant, prenant l'aspect d'une grande tache verte sur le sol.

Tiges très courtes 1-4 mm de long, dressées, nombreuses et reliées par le protonéma, pourvues à la base de rhizoïdes denses et grisâtres.

Feuilles 2-4 mm de long, ascendantes à l'humidité, imbriquées à la dessiccation, lancéolées-subulées, à base élargie et longue, occupant la moitié de la longueur; les basilaires courtes et ovales; les moyennes longuement acuminées, denticulées dans la moitié supérieure; marge large pour le groupe, dans la moitié inférieure du limbe; nervure percurrente plus ou moins dentée dorsalement; face adaxiale portant 10-15 lamelles longitudinales et unistratiées, composées de 4-6 rangées de cellules; cellules terminales orbiculaires à ovales, à paroi externe lisse, différant peu des autres. *Cellules* paramédianes de la gaine rectangulaires-allongées; cellules des ailes dans le 1/4 supérieur arrondies, carrées, ovoïdes à rectangulaires, le plus grand axe mesurant 9-18 μm .

Feuilles périgoniales écailleuses, dressées, imbriquées, obcordées et à nervure large et excurrente. *Feuilles* périchétiales relativement étroites, beaucoup plus longues que les feuilles normales, dentées dans le tiers supérieur; nervure dentée sur le dos.

Calyptre dépassant la capsule, jaune pâle, très chevelue. *Soie* 1,0-2,5 cm, jaune à brun rougeâtre, 1 par périchète. *Capsule* dressée ou subdressée, symétrique, jaune verdâtre à brun. *Opercule* un peu débordant, conique et muni d'un bec légèrement courbé, parfois droit. *Urne* 4 mm \times 0,8 mm, cylindrique, réduite sous l'orifice; cellules de l'exothécium mamilleuses, subcarrées, rectangulaires-arrondies, hexagonales ou pentagonales, à paroi épaissie et élargie davantage dans le sens de la longueur; stomates nuls. *Péristome*: 32 dents brun foncé avec marge hyaline et papilleuse.

Spores 6-12 μm de diamètre, globuleuses, lisses, venant à maturité au début de novembre.

Sur sols dénudés, humides et ombragés, surtout les terrasses argileuses.

Illustrations: Jennings, 1951, Pl. XXXII; Grout, 1972, vol. 1, pl. 58b; Sullivant, 1969, pl. 47 (sous le nom de *P. brevicale*).

Section *Dendroidea* Schimp., Coroll. Bryol. Eur.: 90. 1855.

2. *POGONATUM DENTATUM* (Brid.) Brid., Bryol. Univ., 2:122. 1827.

Polytrichum capillare Michx., Fl. Bor. Amer., 2:294. 1803.

Polytrichum urnigerum L. ex Hedw., Sp. Musc.: 100, pl. 22, fig. 5-7. 1801.

Pogonatum capillare (Michx.) Brid., Bryol. Univ., 2:127. 1827.

Pogonatum intertextum Brid., Bryol. Univ., 2:742. 1827.

Pogonatum wahlenbergii Kindb., Rev. Bryol., 21:37. 1894.

Dioecie. Individus mâles un peu plus courts que les individus femelles.

Plantes en touffes vert sombre, olivâtre à brun rougeâtre.

Tige 1-4 cm de long, simple, occasionnellement ramifiée, munie de rhizoïdes plus ou moins dispersés seulement à la base.

Feuilles, les inférieures ovales, distantes et squamiformes, les moyennes serrées, étalées et légèrement courbées à l'humidité, apprimées et pas ou peu tordues à la dessiccation; limbe linéaire-lancéolé à sommet aigu, surmontant une gaine obovée; marge dentée dans la partie supérieure; nervure excurrente, munie de 1-4 dents au sommet, parfois entièrement lisse; face adaxiale pourvue de 25-55 lamelles assimilatrices comprenant 6-8 rangées de cellules, les terminales très élargies et aplanies au sommet, subcarrées à rectangulaires ou en forme de trapèze renversé mais ayant toujours des angles arrondis avec le plus grand côté dans le sens transversal et à cavité cellulaire de forme similaire ou presque à celles-ci, puis enfin à paroi externe très épaissie, hyaline ou brune, ornée de grosses papilles verruciformes; cellules paramédianes de la gaine subcarrées à rectangulaires, plus allongées vers la base, à parois minces; cellules situées au 2/3 supérieur du limbe rectangulaires, subcarrées ou arrondies, à parois épaissies. *Feuilles* périgoniales dentées, obovées à tronquées, cuspidées. *Feuilles* périchétiales étroites, pourvues d'une longue gaine et d'un limbe presque réduit à la nervure.

Calyptre crème à jaunâtre, poilue, atteignant difficilement le col. *Soie* 1,5-3,0 cm de long, jaune à rougeâtre, tournée à droite dans le haut. *Capsule* 1,5-3,0 mm de long, brun jaunâtre, subdressée, ronde. *Opercule* en forme de coupole, pourvu d'un bec droit ou presque, plus court que la moitié de la capsule. *Urne* ovale à subcylindrique, montrant un grand orifice après la sporaison; cellules de l'exothécium mamilleuses, à paroi épaissie, surtout aux angles; stomates absents. *Péristome*: 32 dents à marge hyaline, faiblement papilleuses.

Spores 13-20 μm de diamètre, jaune clair, finement papilleuses.

Dans les lieux ouverts et dénudés, sur sol sableux et acide, sec ou humide, en montagne, sur les crêtes et les berges des torrents, et dispersé à haute altitude. Plante subalpine, alpine-arctique et circumboréale.

Illustrations: Grout, 1972, pl. 59C (sous le nom de *P. capillare*); Lawton, 1971, pl. 7, fig. 11-14.

3. *POGONATUM URNIGERUM* (Hedw.) P. Beauv., Prodr.: 84. 1805.

Polytrichum urnigerum Hedw., Sp. Musc.: 100, pl. 22, fig. 5-7. 1801.

Polytrichum pulverulentum Reynier ex Hedw., Sp. Musc.: 91. 1801.

Polytrichum fasciculatum Michx., Fl. Bor. Am., 2:294. 1803.

Pogonatum fasciculatum (Hedw.) P. Beauv., Prodr.: 84. 1801.

Pogonatum urnigerum (Hedw.) P. Beauv., var. *fasciculatum* (Michx.) Brid., Bryol. Univ., 2:126. 1827.

Pogonatum urnigerum (Hedw.) P. Beauv. var. *pulverulentum* (Hedw.) Brid., Bryol. Univ. 2:126. 1827.

Dioecie. Individus mâles ou femelles de même grandeur ou presque.

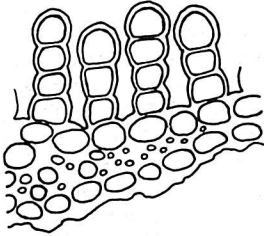
Plantes en groupes, formant des touffes plus ou moins lâches mais larges, vert glauque à brunes.

Tige 2-10 cm de long, généralement rameuse, parfois simple, anguleuse et pourvue de rhizoïdes à la base seulement.

Feuilles inférieures écailleuses, les supérieures longues, 3-9 mm, étalées ou étalées-dressées à l'humidité, dressées et incurvées à la dessiccation; gaine ovale, limbe lancéolé-linéaire à sommet progressivement rétréci; marge armée de dents aiguës de la pointe à la gaine ou presque; nervure ornée sur la face abaxiale, vers le sommet, de dents aiguës et portant à la face adaxiale 40-50 lamelles (vues en coupe transversale, à la mi-hauteur du limbe) formées de 4-6 cellules superposées; cellules terminales arrondies ou ovales, rarement plus larges que hautes, à parois externes épaissies, convexes et garnies de grosses papilles;



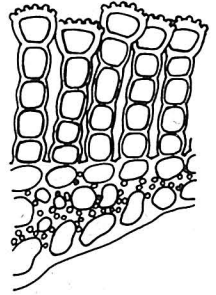
5



5a



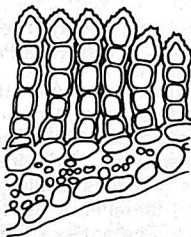
6



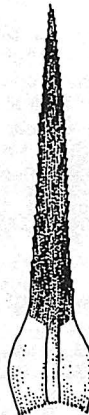
6a



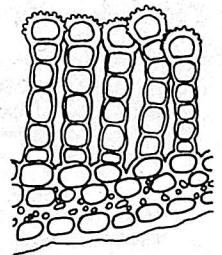
7



7a



8



8a

Figures 5-8. Dessins de feuilles (environ 10X) et de coupes transversales de feuilles (200X) montrant les lamelles à mi-hauteur de la feuille chez *Pogonatum*. Fig. 5 et 5a, *P. pennsylvanicum*. Fig. 6 et 6a, *P. dentatum*. Fig. 7 et 7a, *P. alpinum*. Fig. 8 et 8a, *P. urnigerum*.

cellules paramédianes de la gaine rectangulaires et plus allongées vers la base; cellules situées aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur du limbe subcarrées, subrectangulaires ou hexagonales, plus courtes ou plus longues que larges. *Feuilles périgoniales* disposées en forme de coupe comprenant une gaine très développée, ovale, et un limbe réduit à la pointe. *Feuilles périchétiales* pourvues d'une longue gaine et d'un limbe assez court, les externes plus larges à la base, les internes étroites et progressivement rétrécies.

Calyptra jaune à brunâtre, dépassant la capsule. *Soie* longue, 1-5 cm, jaunâtre à rougeâtre, tournée à droite dans la partie supérieure. *Capsule* 2,8-3,5 mm de long, dressée ou subdressée, brune à brun rougeâtre. Opercule convexe à conique, surmonté d'un bec droit ou légèrement courbé. Urne ovale à cylindrique, non plissée, très rugueuse, dépourvue d'apophyse.

Exothécium constitué de cellules mamilleuses à parois épaissies particulièrement aux angles; stomates absents. *Péristome*: 32 dents brun rougeâtre, à marge étroite, hyaline et légèrement papilleuse, membrane basale élevée pour le groupe.

Spores 11-15 μm de diamètre, sphériques à globuleuses, à paroi lisse.

Dans les lieux acides, sableux et secs ou humides, ouverts, les anfractuosités, les berges des cours d'eau. Présent à toutes les altitudes et aussi à haute latitude. Plante holarctique.

Illustrations: Hedwig, 1960, pl. 22, fig. 5-7; Grout, 1972, vol. 1, pl. 59B; Dixon, 1970, tab. V, fig. C; Lawton, 1971, pl. 8 fig. 14-18; Husnot, 1967, tab. LXXVIII.

3a. *Pogonatum urnigerum* (Hedw.) P. Beauv. var. *subintegrifolium* (Arnell & Jens.) Moell., Ark., 16(3): 69. 1921.

Petite plante à feuilles entières ou presque croissant dans les montagnes. Déjà récoltée en Alaska et au Groenland, elle est à rechercher dans la péninsule de l'Ungava. L'herbier national (CAN) renferme une seule récolte, prélevée par G. L. Smith, en provenance du lac Chandler et des environs (Alaska, 1966). C'est probablement une plante de l'ouest canadien, et sûrement une variété valable, dont on peut soupçonner la présence au Yukon.

4. *POGONATUM ALPINUM* (Hedw.) Röhl., Ann. Wetterau Ges., 3: 226. 1814.

Polytrichum alpinum Hedw., Sp. Musc.: 92. 1801.
Polytrichum ferrugineum Brid., Musc. Rec., 1: 61. 1806.

Polytrichum furcatum Hornsch., Horae Phys. Berol. 1820.

Pogonatum furcatum (Hornsch.) Brid., Bryol. Univ., 2: 133. 1827.

Polytrichum alpinum L. ex Hedw. var. *furcatum* (Hornsch.) C. Muell., Syn. Musc. Frond., 1: 211. 1849.

Diocie. Plante mâle souvent plus petite que la plante femelle. Végétal poussant en touffes lâches, vert mat à brun rougeâtre.

Tige de longueur assez variable, 2-20 cm de long, simple ou rameuse, brun rougeâtre, anguleuse.

Feuilles distantes et écailleuses à la base; les moyennes, 3-14 mm de long, serrées, largement étalées, courbées et retombantes à l'humidité; dressées à dressées-étalées à la dessiccation; limbe linéaire-lancéolé, denté dans les $\frac{3}{4}$ supérieurs ou seulement au sommet ou encore entier chez certaines formes, avec pointe aristée, armée et rougeâtre (rappelant un *Polytrichum juniperinum*); marge étroite, dilatée à la base en une gaine courte et obovale; nervure excurrense ornée de quelques dents sur la face abaxiale, et munie à la face adaxiale de 30-50 lamelles formées de 5-8 rangées de chlorocystes, les terminaux (vus en coupe transversale) étant plus hauts que larges, ovales à pyriformes et pourvus d'une paroi externe épaissie et papilleuse; cellules des $\frac{2}{3}$ supérieurs du limbe quadratiques; cellules paramédianes à la mi-hauteur de la gaine rectangulaires-linéaires. *Feuilles périgoniales* obovées, apiculées. *Feuilles périchétiales* à peu près semblables aux feuilles normales mais à acumen plus court. *Soie* 1-6 cm de long, jaunâtre à brun pâle au sommet, brun rougeâtre à la base, flexueuse et tournée à droite.

Calyptra ornée de poils denses et retombants, ne couvrant pas entièrement la capsule à maturité. *Capsule* 2,5-4,0 mm de long, vert jaunâtre à brun pâle, dressée ou un peu penchée. *Urne* ovale, ovale oblongue à cylindrique, lisse, à col atténué, parfois délimité et séparé par une légère constriction; cellules de l'exothécium lisses, arrondies, isodiamétriques, à parois épaissies; stomates larges, présents seulement sur le col. *Péristome*: 40-60 dents courtes, 210-240 μm de haut, brun pâle, marge indistincte; membrane basale très variable.

Spores 12-22 μm de diamètre, brun pâle, papilleuses.

Dans les anfractuosités des rochers, sur les sols siliceux ou tourbeux, en montagne surtout. Présent à la fois dans l'Arctique et l'Antarctique.

Cette entité a été rangée par plusieurs auteurs modernes dans le genre *Polytrichum* à cause du col renflé pourvu de stomates, du nombre élevé des dents du péristome. Par contre, sa capsule ronde (ou sans angles) et les cellules terminales de ses lamelles à parois épaissies et papilleuses sont des caractères qui justifient encore son classement parmi les *Pogonatum*.

Illustrations: Lawton, 1971, pl 8, fig. 1-4.

4a. *Pogonatum alpinum* (Hedw.) Röhl. var. *sylvaticum* (Hoppe) Lawt., J. Hattori Bot. Lab., Supp. no 1, p. 37, pl. 8. 1971.
Pogonatum alpinum var. *sylvaticum* (Menz.) Lindb., Act. Soc. Sci. Fenn., 10: 6 1871.

Polytrichum sylvaticum Menz., Bot. Zeit. Regensburg, 1:74. 1802.

Polytrichum macounii Kindb. in Mac., Bull. Torrey Bot. Club, 16:96. 1889.

Pogonatum alpinum (Hedw.) Röhl. var. *macounii* (Kindb.) Card. & Thér., Proc. Wash. Acad. Sci., 4:328. 1902.

Plante préférant les parties basses du territoire où elle croît. La tige peut atteindre jusqu'à 14 cm et ses feuilles varient entre 10-20 mm de long. Elle se rencontre dans l'ouest de l'Amérique du Nord et, à notre connaissance, n'a pas été signalée pour le Québec. Certains échantillons de l'État de New York et de la Nouvelle-Angleterre ont été référés à cette variété.

4b. *Progonatum alpinum* (Hedw.) Röhl. var. *fragile* (Bryhn) Crum, Bryologist, 74(2): 168. 1971.

Polytrichum fragile Bryhn, Rept. 2nd. Norwegian Exped. Fram, 2:122. 1907.

Polytrichum alpinum Hedw. var. *fragile* (Bryhn) Nyh., Illus. Moss. Fl. Fennoscandia, 2(6):675. 1969.

Plante plus robuste que le type, elle est surtout caractérisée par ses feuilles courtes cassant facilement au niveau de la zone de transition entre la base engainante et le limbe. Crum cependant la considère comme étant une simple expression arctique de *P. alpinum* [annotation sur un spécimen récolté par Steere (N° 17243) en Alaska (CAN)].

4c. *Pogonatum alpinum* (Hedw.) Röhl. var. *septentrionale* (Brid.) Brid., Bryol. Univ., 2:131. 1827.

Polytrichum septentrionale SW., Monthl. Rev., 34:538. 1801.

Pogonatum alpinum (Hedw.) Röhl. var. *brevifolium* (R. Brown) Brid., Bryol. Univ., 2:131. 1827.

Pogonatum alpinum (Hedw.) Röhl. var. *simplex* Schimp., Coroll. Bryol. Eur.: 1855.

Cette variété vit surtout dans les régions subarctiques et arctiques. Elle est petite et munie de feuilles courtes (3-14 mm), dentées à entières. La capsule est plutôt courte (2,5-2,8 mm), ovoïde; la soie est également courte (1-1,2 cm). Déjà récoltée dans la région de la baie d'Hudson, elle est susceptible d'être rencontrée dans le nord du Québec.

Les variétés que nous signalons sont peut-être en réalité des formes écologiques que l'on rencontre dans le Grand-Nord ou, exceptionnellement, dans les basses latitudes en haute montagne. Brassard (1971) prétend que la séparation des *Pogonatum* en variétés ou en formes n'est pas justifiée; il n'a probablement pas tort. Le petit nombre de spécimens conservés dans les herbiers et les quelques provenances signalées ne suffisent pas pour entreprendre une étude valable sur ce point. En attendant de nouvelles recherches qui pourront donner satisfaction, nous acceptons les variétés indiquées par Crum, Steere et Anderson dans leur dernière liste des Mousses de

l'Amérique du Nord (1973). Nous ne traitons cependant pas de la variété *arcticum* (Schrad.) Brid., que nous considérons comme européenne. Il est également à noter que des échantillons récoltés par Grout et déterminés sous le nom de *P. alpinum* var. *arcticum* ont été depuis rangés dans la variété *alpinum*.

POLYTRICHUM Hedw., Sp. Musc.: 88. 1801.

Dioecie. Plantes en touffes lâches ou serrées, formant parfois des tapis denses, ou bien isolées, vert clair, vert foncé, vert olive, brunissant avec l'âge dans la partie inférieure.

Tige aérienne naissant d'un système souterrain et rhizomateux, simple, parfois bifurquée, ronde et sillonnée dans la partie supérieure, triangulaire avec angles arrondis, brune à rougeâtre, hispide ou tomenteuse à la base; en coupe transversale, une assise superficielle de stéréides rappelant l'épiderme des phanérogames; une zone corticale formée d'abord d'une ou de deux assises de stéréides brun rougeâtre très foncé suivies à l'intérieur de plusieurs autres assises de cellules de même nature mais pâles et plus larges, et à parois s'amincissant progressivement et disposées en couches de moins en moins concentriques, à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie; la partie interne de la zone corticale est composée de cellules parenchymateuses qui s'orientent en séries radiales; au centre se trouve le faisceau axial constitué d'hydroïdes associés à des parenchymes et séparé du cortex par une assise concentrique plus ou moins continue.

Feuilles inférieures écailleuses, courtes et distantes; les intermédiaires et les supérieures longues, serrées, à l'état sec, d'abord apprimées puis dressées ou étalées, souvent redressées et tordues, à l'état humide dressées, dressées-étalées ou recurvées, bordées seulement dans la gaine; limbe lancéolé-linéaire ou lancéolé-canaliculé, régulièrement rétréci en une pointe longue, aristée et armée, à marge dentée ou entière; gaine translucide, unistratifiée, ovale ou obovale. *Nervure* percurrente à excurrente, mince dans la gaine, élargie dans le limbe, dentée sur le dos et portant à la face adaxiale, plusieurs lamelles longitudinales, unistratifiées, montrant en coupe transversale 3-9 étages de cellules, les terminales étant d'ordinaire différentes des autres (semblables dans quelques cas), à paroi externe lisse ou surmontée d'une grosse papille épaisse ou mince, plane, échancrée ou convexe. *Cellules* du limbe quadratiques, quadratiques-arrondies ou brièvement rectangulaires. Cellules de la gaine rectangulaires-linéaires, à parois longitudinales droites ou légèrement flexueuses, plus courtes à la marge. *Feuilles périgonales* courtes, gaine élargie, ovales à obovales et pourvues d'un limbe très réduit, cuspidé; disposées en forme de coupe ou de bourgeon souvent traversé par des rameaux innovants. *Feuilles périchétiales* généralement plus longues et plus étroites que les feuilles normales; gaine allongée, entièrement membraneuse ou seulement à la marge; limbe réduit,

longuement acuminé ou aristé, muni de lamelles mais en nombre restreint.

Calyptra cucullée, couverte de poils denses, longs et pendants, dépassant ordinairement la capsule, parfois égale ou plus courte. *Soie* jaune à brun foncé, étroite ou épaisse, non tournée ou tournée vers la droite; 1 par périchèze. *Capsule* vert jaunâtre à brun, dressée à horizontale ou pendante. *Opercule* conique, souvent déprimé.

à bec court ou long, droit ou courbé. *Anneau* absent ou non évident. *Urne* courte ou longue, rarement ronde, cubique ou prismatique; exothécium à cellules lisses ou mamilleuses; apophyse presque toujours distincte, stomatique. *Péristome*: 64 dents; membrane basilaire élevée ou courte. Épiphragme brun pâle.

Spores petites à très grandes, lisses à papilleuses.

Clé de détermination des espèces (fig. 9-14)

- A. Feuille subobtuse, cucullée, mutique ou à pointe très courte et émoussée 4. *Polytrichum sexangulare* Brid.
- A. Feuille nettement aiguë, acuminée en une pointe rouge, souvent aristée, pilifère ou non B
- B. Bords de la feuille fortement infléchis, rendant celle-ci canaliculée et demeurant encore dans cette position sur environ la moitié de sa longueur, entiers ou encore dentés seulement au sommet sous et sur l'arête C
- B. Bords de la feuille plans ou ascendants à l'humidité et dentés au moins dans la moitié supérieure (ou exceptionnellement entiers chez *P. commune* var. *yukonense* mais ici, contrairement aux espèces du groupe précédent, l'arête est à la fois édentée et rougeâtre) D
- C. Feuilles brusquement rétrécies vers le sommet en une pointe longue, entièrement ou partiellement hyaline 6. *Polytrichum piliferum* Hedw.
- C. Feuilles insensiblement rétrécies en une pointe courte, rougeâtre 7. *Polytrichum juniperinum* Hedw.
- D. Cellules terminales des lamelles sillonnées ou invaginées (feuille coupée transversalement à mi-hauteur du limbe); bec de l'opercule court, ne dépassant pas le $\frac{1}{3}$ de la longueur de la capsule; cellules de l'exothécium bombées et ornées d'une petite tache au centre («thin spot») 5. *Polytrichum commune* Hedw.
- D. Cellules terminales des lamelles peu déprimées, généralement convexes, plus ou moins arrondies ou encore aplanies; opercule atteignant la moitié de la longueur de la capsule; cellules de l'exothécium non bombées et dépourvues de petite tache centrale («thin spot») E
- E. Cellules terminales des lamelles (vues dans une coupe transversale de la feuille) plus larges que longues, à paroi externe légèrement aplanie et plus ou moins épaissie 3. *Polytrichum ohioense* Ren. & Card.
- E. Cellules terminales plus longues ou aussi longues que larges à paroi externe arrondie et pratiquement de même largeur que les autres cellules de la même file...F
- F. Cellules terminales des lamelles (vues dans une coupe transversale) longues et elliptiques; marge du limbe, à mi-hauteur, étroite, constituée de 3-6 cellules dont chacune ne dépasse pas $15 \mu\text{m}$ dans sa plus grande dimension (mesurée sur l'une des faces de la feuille); capsule possédant des angles très accusés 2. *Polytrichum formosum* Hedw.
- F. Cellules terminales des lamelles courtes, subovales ou arrondies se distinguant peu des autres cellules; marge du limbe, à mi-hauteur, large, formée de 7-15 cellules mesurant $15-20 \mu\text{m}$ de longueur; capsule montrant des angles peu prononcés 1. *Polytrichum longisetum* Brid.

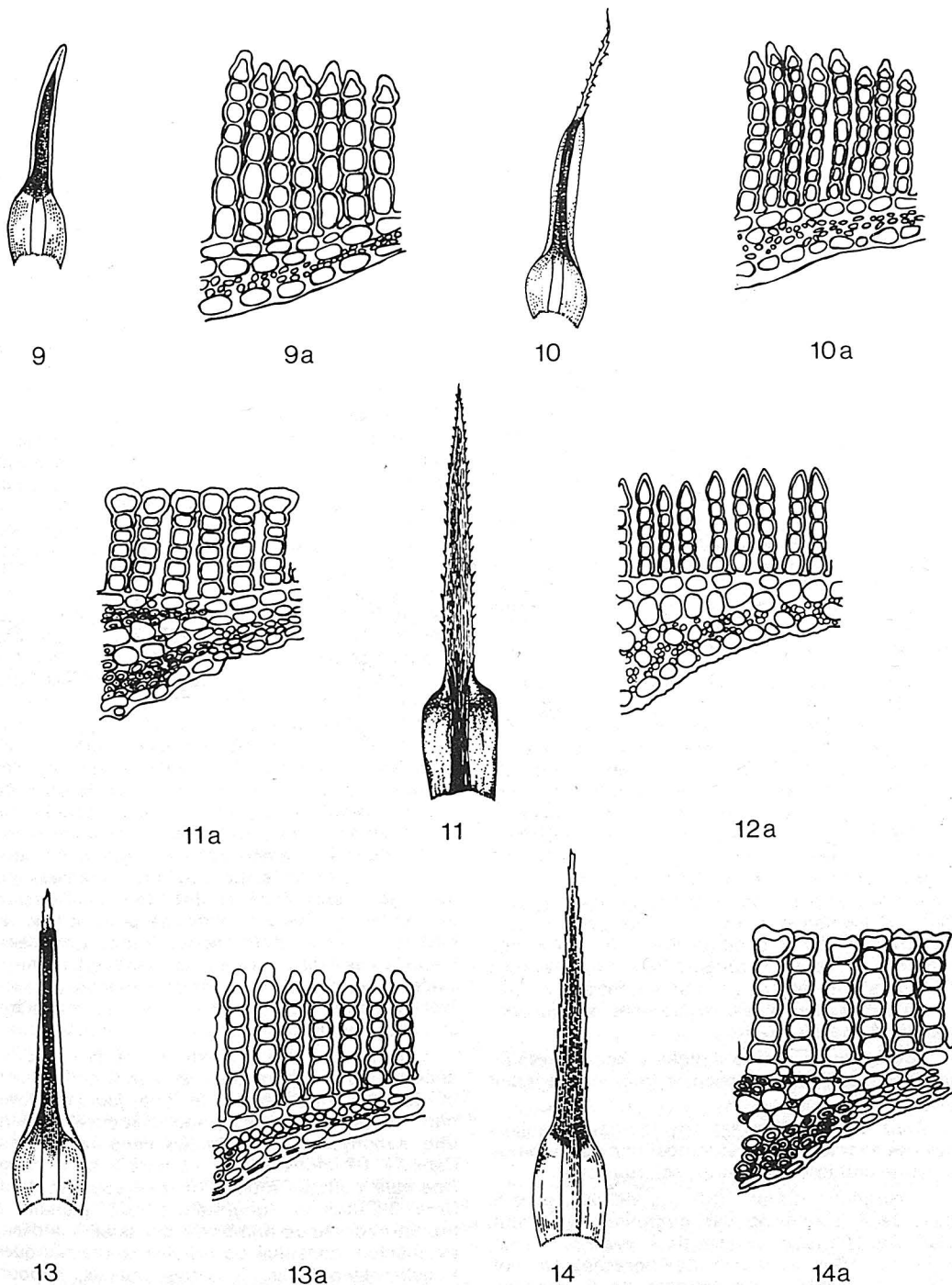
Section *Sexangularia* B.S.G., Bryol. Eur., 4:261 (fasc. 21-22, Mon. 7). 1844.

1. *POLYTRICHUM LONGISETUM* Sw. ex Brid., Jour. f. Bot., 1800 (2):286. 1801.

Polytrichum aurantiacum Hoppe ex Brid., Jour. f. Bot., 1800(2):286. 1801.

Polytrichum gracile Dicks. in Menz., Bot. Zeit. Regensburg. 1:74. 1802.

Polytrichum marginatum Brid., Musc. Recent. Suppl., 1:59. 1806.



Figures 9-14. Dessins de feuilles (environ 10X) et de coupes transversales de feuilles (200X) montrant les lamelles à mi-hauteur de la feuille chez *Polytrichum*. Fig. 9 et 9a, *P. sexangulare*. Fig. 10 et 10a, *P. piliferum*. Fig. 11 et 11a, *P. ohioense*. Fig. 12a, *P. formosum*; la forme de la feuille de *Polytrichum formosum* est très semblable à celle de *P. ohioense*. Fig. 13 et 13a, *P. juniperinum*. Fig. 14 et 14a, *P. commune*.

Polytrichum attenuatum Brid. var. *auraticum* (Brid.) Turn., Mus. Hib.: 84. 1804.

Polytrichum formosum Hedw. var. *aurantiacum* (Brid.) Hartm., Handb. Skand. Fl.: 404. 1820.

Polytrichum formosum Hedw. var. *gracile* (Dicks.) Vent. & Bott., Atti Soc. Critt. Ital., 2:3:182. 1884.

Polytrichum dixonii Braithw. in Dix., J. Bot., 23:169. 1885.

Dioecie. Plantes en touffes lâches, vert foncé.

Tige 5-10 cm de long, anguleuse, simple, rarement bifurquée, dressée ou ascendante, pourvue à la base, dans le tronçon non feuillé, d'un manteau de rhizoïdes blanchâtres.

Feuilles inférieures squamiformes, les supérieures, 8-10 cm de long, étalées-dressées à l'humidité, dressées-appliquées puis légèrement ondulées ou courbées à l'état sec, oblongues et à base engageante; limbe lancéolé-linéaire, à marge dressée, garnie de dents spinuleuses du sommet à la base ou presque; gaine obovale se terminant par une pointe brunâtre et dentée. *Nervure* excurrente, pourvue à la face adaxiale de 30-45 lamelles assimilatrices formées de 4-6 rangées de chlorocystes, les terminaux, vus en coupe transversale, étant munis d'une paroi externe, lisse, pas ou peu épaissie; face abaxiale édentée ou pourvue d'une ou de deux dents vers le sommet. *Feuilles périgoniales* à gaine obovée et limbe acuminé. *Feuilles périchétiales* à peu près semblables aux feuilles normales mais souvent plus grandes.

Calyptra jaune ocracé couvrant incomplètement la capsule. *Soie* 3-7 cm de long, rouge jaunâtre et pâle sauf dans le bas où elle est orangée, légèrement flexueuse; apophyse distincte à maturité, stomatique, égalant environ la moitié de la largeur de la capsule. *Capsule* 3-5 mm de long, jaunâtre à brun, ovale à cylindrique, deux fois plus longue que large. *Opercule* convexe surbaissé, longuement rostré. *Urne* ayant généralement 4-5 angles accusés ou peu distincts, parfois 6 devenant plissée par la dessiccation; cellules de l'exothécium isodiamétriques ou rectangulaires, dépourvues de papille centrale. *Péristome*: 64 dents, 250-270 μm de haut, rouges, jaunâtre pâle, plus ou moins foncées dans la partie centrale, ornées de stries longitudinales, légèrement papilleuses; membrane basale courte.

Spores 18-25 μm de diamètre, jaune verdâtre, finement papilleuses, venant à maturité au début de l'été.

Dans les tourbières, les bois tourbeux, les lieux ouverts et acides, de préférence humides, à basse et haute altitude, sur humus, sol ou rocher.

Illustrations: Crum, 1973, fig. 993-996 (sous le nom de *P. formosum* var. *aurantiacum*); Grout, 1965, fig. 16b (sous le nom de *P. gracile*); Grout, 1972, pl. 61B (sous le nom de *P. gracile*); Husnot, 1967, fig. LXXIX (sous le nom de *P. gracile*); Dixon, 1970, tab. 6D (sous le nom de *P. gracile*).

2. *POLYTRICHUM FORMOSUM* Hedw., Sp. Musc.: 92. 1801.

Polytrichum attenuatum Menz. ex Brid., Jour. f. Bot., 1800 (2): 286. 1801.

Polytrichum commune var. *attenuatum* (Brid.) Hook & Tayl., Musc. Brit.: 26. 1818.

Polytrichum formosum var. *quadrangulare* Hartm., Skand. Fl.: 404. 1820.

Polytrichum coronatum Brid., Bryol. Univ., 2:748. 1827.

Polytrichum superbum Schultz., Syll. Pl. Nov. 2:152. 1828.

Atrichum anomalum Milde, Hedwigia, 8:161. 1869.

Polytrichum conorhynchum Kindb. in Macoun, Cat. Can. Pl., 6:154. 1892.

Dioecie. Plante femelle plus grande que la plante mâle. Végétal robuste pour le genre, vivant en touffes plus ou moins espacées, vert foncé à vert pâle, devenant brunâtre dans la partie inférieure.

Tige aérienne 5-20 cm de long, simple, non divisée, à base feutrée et retenue au sol par un système rhizomateux. En coupe transversale, la tige montre un faisceau axial bien défini.

Feuilles 6-10 mm de long, étalées-flexueuses à l'état humide, devenant légèrement dressées ou dressées-étalées à l'état sec, courtes à la base de la tige pour devenir plus longues vers le sommet; gaine oblongue, obovale à elliptique, jaune pâle, hyaline à la marge; limbe opaque, linéaire-lancéolé à marge ornée de dents aiguës jusqu'à la gaine ou presque; nervure percurrente étroite au niveau de la gaine, s'élargissant dans le limbe et devenant dentée sur la face abaxiale et soutenant, à la face adaxiale 50-60 parfois même 70 lamelles dont chacune montre, en coupe transversale, une file de 3-5 cellules pratiquement semblables, la terminale étant presque aussi longue que large et sensiblement de même épaisseur que les cellules sous-jacentes. La nervure et les lamelles occupent presque la totalité de la largeur du limbe, laissant de chaque côté, aux $\frac{2}{3}$ de la longueur de la feuille, une marge unistratifiée de 4-10 cellules isodiamétriques avec grand axe situé dans la transversale. Les cellules paramédianes de la gaine sont linéaires, 5-10 fois plus longues que larges, celles de la marge plus étroites et hyalines. *Feuilles périgoniales* toutes cuspidées, les externes lancéolées et les internes largement ovales. *Feuilles périchétiales* plus longues que les feuilles normales, à gaine allongée et concolore, et à limbe faiblement denté.

Calyptra de teinte chamois, garnie de poils appliqués puis retombants, couvrant entièrement la capsule. *Soie*, 4-8 cm de long, jaunâtre devenant rougeâtre à la base, non flexueuse, formant une apophyse bien délimitée sous la capsule. *Capsule* 4-7 mm de long, oblique à horizontale. *Opercule* conique muni d'un bec court et droit. *Urne* 3-5 mm de long, tétragonale, jaunâtre à brunâtre, ornée de nombreux stomates à la base; exothécium constitué de cellules isodiamétriques à subrectangulaires, à parois minces, dépourvues d'épaississements aux angles. *Péristome*: 64 dents, 120-200 μm de long, courtes et arrondies, jaune pâle, garnies de papilles; membrane basale peu élevée 60-80 μm .

Spores 10-15 μm de diamètre, légèrement papilleuses.

Sporaison estivale.

Dans les bois à sols sableux, sur les rochers recouverts de sol aux interstices, sous les conifères, puis dans le voisinage des tourbières et des peuplements mélangés.

Illustrations: Crum, 1973, fig. 992; Grout, 1972, pl. 61A; Jennings, 1951, pl. 72; Lawton, 1971, pl. 10, fig. 1-4; Husnot, 1967, pl. LXXIX; Dixon, 1970, tab. VI F; Nyholm, 1969, fig. 442.

3. *POLYTRICHUM OHIOENSE* Ren & Card., Rev. Bryol., 12:11. 1885.

Polytrichum formosum Lesq. & James, Man. Mosses N. Am.: 264. 1884.

Polytrichum Smithae Grout, Bryol. 6:41, pl. 8, fig. 1, 10-11. 1903.

En général dioecie, autoecie rarement observée. Gamétophyte mâle plus court au début que le gamétophyte femelle mais pouvant devenir aussi haut avec ses rameaux innovants. Espèce de taille moyenne pour le genre, se présentant en touffes lâches plus ou moins étendues, variant d'un vert glauque, vert olive à brun rougeâtre.

Tige rhizomateuse; partie aérienne 2,5-8 cm de long, légèrement poilue à la base, généralement simple, triangulaire dans la partie inférieure et pentagonale dans le tronçon abondamment feuillé. Une coupe transversale de la tige pratiquée au niveau de la partie feuillée montre au centre un faisceau axial constitué d'hydroides, entouré d'une zone médullaire large, constituée de parenchymes contenant de l'amidon et traversée à plusieurs places par des traces foliaires et, enfin, une zone corticale comprenant une à deux assises de stéréides.

Feuilles 5-15 mm de long, décurrentes, étalées puis recurvées à l'état humide, dressées et un peu tordues à la dessiccation, garnies à la face adaxiale de 30-45 lamelles disposées en palissade (vues dans une feuille coupée transversalement) et constituées de files de 4-6 cellules semblables, à l'exception de la cellule terminale; cellule terminale aplatie, à paroi externe plus ou moins épaissie. *Nervure* et *lamelles* couvrant la presque totalité du limbe, les aires restantes étant occupées de chaque côté par les ailes qui sont réduites à des marges unistratifiées d'une largeur variant de 3 à 5 cellules; celles-ci, vues à la face ventrale, carrées à isodiamétriques; cellules paramédianes rectangulaires à linéaires, 6-8 fois aussi longues que larges. *Feuilles périgoniales* d'abord ovées à obovées, puis terminées par une pointe opaque, étroite, fortement dentée et aristée. *Feuilles périchétiales* ressemblant aux feuilles normales mais avec une gaine allongée et un limbe étroit.

Calyptre jaunâtre couvrant entièrement la capsule et pouvant même la dépasser, munie de longs poils dirigés vers le bas. *Soie* 4-9 cm de long, brillante, brun châtain puis jaune d'or au-dessus, tournée dans le bas vers la droite, terminée par une apophyse peu développée. *Capsule* 4-6 mm de long, d'abord dressée puis devenant horizontale.

Opercule égalant au moins la moitié de la longueur de l'urne, pourvu d'un bec assez long et courbé vers le bas. *Urne* 3-4 mm de long, oblongue, plus ou moins symétrique, tétragonale à pentagonale, jaune verdâtre à brun pâle, à col pourvu de nombreux stomates; exothécium formé de cellules subcarrées à hexagonales, à parois épaisses, dépourvues de petite tache centrale («thin spot»). Péristome: 64 dents, 90-180 μm de long, jaune pâle, plus foncé vers le milieu, papilleuses; membranes basales relativement élevées, 70-90 μm .

Spores 11-15 μm de diamètre, papilleuses. Sporaison en juillet-août.

Forêt feuillue, résineuse ou mélangée, aussi plantations de conifères, champs abandonnés, bord des tourbières et des lacs, sur sol organique ou sur bois mort.

Illustrations: Crum, 1973, fig. 997-998; Grout, 1972, pl. 62a; Jennings, 1951, pl. 32; Grout, 1965, pl. XII, fig. 8.

Ce polytric est sans doute le représentant de la famille des Polytrichacées que l'on rencontre le plus fréquemment en forêt. De prime abord, il est possible de le confondre avec *P. formosum* ou encore avec *P. longisetum*, mais on le distinguera surtout par sa capsule plus atténuée à la base et son apophyse étroite et très réduite; au contraire, les deux autres espèces émettent des capsules bombées vers la base et pourvues d'une apophyse large et modérément développée.

L'observation au microscope d'une feuille coupée transversalement montre la paroi externe des lamelles qui est à la fois épaissie et légèrement aplatie, permettant de distinguer ainsi l'espèce avec certitude.

Frye (*in* Grout, 1972), ne voit pas de différences entre *P. ohioense* et *P. decipiens*. Podpera, botaniste tchécoslovaque, reconnaît l'identité des deux espèces en 1954. Ireland affirme dans une lettre récente (1975) que *P. decipiens* est aujourd'hui considéré comme synonyme de *P. pallidisetum*. Par contre, Crum, Steere et Anderson (1973) considéraient encore ce dernier nom comme celui d'une espèce distincte.

4. *POLYTRICHUM SEXANGULARE* Floerke ex Brid., Jour. f. Bot., 1800:285. 1801.

Polytrichum norvegicum auct. mult. non Hedwig. *Polytrichum crassisetum* Lam. & Cand., Fl. Franç. éd. 2:486. 1805.

Polytrichum sexangulare Floerke ex Brid. var. *nivale* Kindb. *in* Roell, Hedwigia, 35:67. 1896.

Polytrichastrum sexangulare (Brid.) G. L. Smith, Mem. New York Bot. Gard., 2(3):37. 1971.

Dioecie. Gamétophytes mâles et femelles entremêlés.

Plantes formant des touffes plus ou moins denses d'un vert brunâtre.

Tige courte 1-10 cm de long, simple ou bifurquée, dressée ou ascendante, presque nue, triangulaire à la base et pentagone dans le tronçon feuillé.

Feuilles inférieures petites, squameuses et dépourvues de lamelles; les moyennes et supérieures, 4-6 mm de long, lamellées, imbriquées à la dessiccation, dressées, courbées à l'humidité, entières ou faiblement dentées près du sommet; gaine imbriquée, transparente, obovale à marge incurvée; limbe linéaire-lancéolé à lancéolé et surmonté d'une pointe émoussée, à marge incurvée jusqu'à la gaine. *Nervure* percurrente à légèrement excurrente, lisse sur la face abaxiale ou ornée de quelques dents vers le haut et portant sur la face adaxiale 30-50 lamelles entières dont la terminale est ovale-conique, mamilleuse au sommet, à parois épaissies et nettement plus grande que les cellules inférieures. *Feuilles périgoniales* à gaine tronquée et munie d'un limbe minuscule, triangulaire. *Feuilles périchétiales* comprenant une longue gaine et un limbe très réduit, ce dernier caractère étant encore plus accusé chez les internes.

Calyptre de couleur feuille morte, courte, n'atteignant pas la base de la capsule, densément poilue. *Soie* 1,5-5 cm de long, jaune à brun rougeâtre, devenant tournée à droite dans le haut par la dessiccation, creuse à l'intérieur à maturité; apophyse peu développée, annuliforme, distincte à la fin sur la plupart des individus stomatique. *Capsule* 2,5-4 cm de long, brun rougeâtre, dressée ou horizontale; opercule long, égalant la moitié de l'urne progressivement rétrécie en un rostre fin. *Péristome*: 64 dents de longueurs inégales 195-240 μm ; membrane basale assez courte sur les échantillons américains, 45-60 μm de haut; cellules de l'exothécium subcarrées, hexagonales ou de forme irrégulière, pourvues de parois larges épaissies aux angles et à mamille indistincte du moins non protubérante.

Spores 13,5-17 μm de diamètre, jaune verdâtre, papilleuses, arrivant à maturité à la fin de l'été.

Espèce circumboréale, arctique et alpine, habitant les terrains humides, souvent à la fois siliceux et mouillés, et aussi les combes à neige.

Cette entité a été récoltée dès 1938 par le Père A. Dutilly à Maricourt (Wakeham Bay), territoire du Nouveau-Québec (Lepage, 1945).

Illustrations: Grout, 1972, pl. 64a (sous le nom de *P. norvegicum*); Lawton, 1971, pl. 10, fig. 12-14; Dixon, 1970, tab. VI, fig. E.

Section *Polytrichum*

5. *POLYTRICHUM COMMUNE* Hedw., Sp. Musc.: 88. 1801.

Dioecie. Plante femelle plus grande que la plante mâle, et pourvue de feuilles plus longues.

Polytrichum robuste vivant en touffes lâches, souvent très étendues, vert foncé, vert olivâtre, brunissant avec l'âge à la partie inférieure.

Tige triangulaire dans la partie rhizomateuse et ronde dans la partie supérieure; tronçon aérien 5-30 cm de long, simple, non feutré; garnie de rhizoïdes seulement à la base; en coupe transversale, tige montrant un faisceau axial développé.

Feuilles 4-13 mm de long, étalées à l'état humide, redressées, tordues à l'état sec, plus courtes vers la base de la tige, mesurant de 4 mm à quelque 12-13 mm vers la partie supérieure, décurrentes larges à la base et brusquement contractées dans la partie supérieure de la gaine; marge dentée sur presque toute la longueur du limbe. *Nervure* large, excurrente, terminée en une pointe raide, dentée sur la face abaxiale et portant à la face adaxiale 40-60 lamelles dont chacune, vue en coupe transversale, est constituée d'une file de 5-9 cellules semblables, sauf la terminale; cette dernière plus large et différant surtout par sa paroi externe à la fois épaissie et échancrée; nervure et lamelles occupant presque toute la largeur du limbe, laissant de chaque côté une marge étroite, unistratifiée, formée de cellules ovales, subcarrées ou quadrangulaires avec grand côté situé en travers; cellules paramédianes de la gaine 10-12 fois plus longues que larges. *Feuilles périgoniales* à gaine obovée et à limbe brièvement acuminé; bourgeon périgonial souvent traversé par des rameaux innovants. *Feuilles périchétiales* pourvues d'une longue gaine et d'un limbe longuement acuminé peu ou pas lamellifère, faiblement denté, parfois entier. Périchète rarement traversé par des rameaux innovants.

Calyptre jaune brun brillant, descendant jusqu'au-dessous de la capsule revêtue de poils longs et denses. *Soie* 4-12 cm de long, rougeâtre, plus foncée à la base qu'au sommet, peu flexueuse, formant au sommet une apophyse très marquée, nettement séparée de l'urne par une constriction. *Capsule* 3-5 mm de long, dressée à horizontale. Opercule brun bordé de rouge, conique-déprimé, muni d'un bec court, droit ou presque. *Urne* 3-5 mm de long, tétragone presque cubique, brunâtre à jaunâtre, ornée de stomates à la base; exothécium composé de cellules subcarrées, rectangulaires à hexagonales, à paroi mince peu épaissie aux angles. *Péristome*: 64 dents, 250-200 μm de haut, plus ou moins rougeâtres au milieu et pellucides à la marge; membrane basale relativement élevée 80-120 μm . *Épiphragme* jaune brun.

Spores 8-10 μm de diamètre, jaunâtres et lisses. Sporaison estivale.

Sur terrains secs ou humides, généralement acides, dans les forêts, les tourbières et les pages.

Illustrations: Crum, 1973, fig. 999-1004; Grout, 1965, fig. 17 a-d; Grout, 1972, pl. 63; Husnot, 1967, tab. LXXIX; Flowers, 1973, pl. 147; Jennings, 1951, pl. 33; Lawton, 1971, pl. 9, fig. 7-14.

C'est le plus grand de nos Polytrics. On le reconnaît facilement sur le terrain par deux caractères réunis : la feuille à marge dentée et la capsule subcubique. Lorsque l'échantillon n'est pas fructifié, le bord sillonné-échan-

cré de la cellule terminale des lamelles d'un limbe coupé transversalement suffit pour identifier l'espèce. Au Québec, on reconnaît les quatre variétés suivantes.

- A. Feuille 4-6 mm de long, courte et à marge entière 5a. *Polytrichum commune* var. *yukonense* (Card. & Thér.) Frye
- A. Pas ces caractères réunis (si dans ce groupe la feuille présente exceptionnellement une marge dentée, elle est alors longue) B
- B. Feuilles périchétiales à marge hyaline (blanchâtre à la dessiccation), beaucoup plus longues que les feuilles normales 5c. *Polytrichum commune* var. *perigoniale* (Michx.) Hampe
- B. Feuilles périchétiales à marge concolore, sensiblement de même longueur que les feuilles normales C
- C. Feuilles sériées et très cassantes, munies d'une gaine allongée, deux fois plus longue que large, limbe denté seulement dans la moitié supérieure 5b. *Polytrichum commune* var. *maximoviczii* Lindb.
- C. Feuilles distantes munies d'une gaine courte, un peu plus longue que large (1/4 sur 1) 5d. *Polytrichum commune* var. *commune*.

5a. *Polytrichum commune* Hedw. var. *yukonense* (Card. & Thér.) Frye in Grout, Moss Fl. N. Amer., 1:125, pl. 63. 1937. *Polytrichum yukonense* Card. & Thér., Proc. Wash. Acad. Sci. 4:329. 1902.

Feuilles courtes 4-6 mm de long, à dents réduites portant des lamelles élevées, formées de 8 à 12 rangées de cellules; marges dressées et entières.

Plante arctique, rare.

Illustration: Grout, 1972, pl. 63, fig. 25-30.

5b. *Polytrichum commune* Hedw. var. *maximoviczii* Lindb., Acta Soc. Sc. fennica, 10:224. 1872. *Polytrichum commune* Hedw. var. *Jensenii* (Hag.) Mönk in Warnst., Krypt. Fl. Brandenburg 2:1105. 1906.

Plante de taille variable à feuilles longues ou courtes, 5-10 mm, assez distantes, très cassantes et pourvues d'une base engainante élevée, deux fois plus longue que large; marges montrant, dans la moitié supérieure, des dents faibles et espacées.

Mousse arctique-alpine.

Illustration: Grout, 1972, pl. 63, fig. 20-24 (sous le nom de *P. commune* var. *jensenii*).

5c. *Polytrichum commune* Hedw. var. *perigoniale* (Michx.) Hampe, Linnaea, 13:44. 1839. *Polytrichum perigoniale* Michx., Fl. Bor. Amer., 2:293. 1803.

Entité caractérisée surtout par ses feuilles périchétiales très longues, à marges membraneuses, blanchâtres à la dessiccation. Elle présente des feuilles normales serrées, plus étroites que celles

du type et portant des lamelles minces terminées par une cellule (vues en coupe transversale) dont la paroi externe est peu échancrée. Parfois cette mousse se caractérise par des extrémités foliaires blanchâtres, surtout si elle pousse sur des endroits secs. La base de la partie verticale de la tige est feutrée. Terrain devenant asséché durant l'été. Aire de répartition rappelant celle du type mais s'étendant moins à l'ouest.

Illustration: Grout, 1972, pl. 63, fig. 14-19.

5d. *Polytrichum commune* Hedw. var. *commune*

Feuille normale fortement dentée, à base engainante courte; feuille périchétiale de même couleur et de même longueur que la feuille normale, mais plus large.

Très répandu au Québec, sur sol surtout minéralisé, du niveau de la mer à 1500 m d'altitude.

Illustration: Grout, 1965, fig. 17a-d.

Section *Juniperifolia* Brid., Musc. Recent., Suppl. 1:47. 1806.

6. *POLYTRICHUM PILIFERUM* Schreb. ex Hedw., Sp. Musc.: 90. 1801.

- Polytrichum pilosum* Neck. ex Lindb., Act. Soc. Sc. Fenn., 10:23. 1871, nom. illeg.
- Polytrichum hoppei* Hornsch., Flora, 2:106. 1819.
- Polytrichum pilifolium* Gray, Nat. Arr. Brit. Pl., 1:720. 1821.
- Polytrichum laevipilum* Hampe, Linnaea, 30:459. 1860.

Diocie. Gamétophyte mâle plus petit que le gamétophyte femelle et portant des feuilles plus courtes. Plante petite se présentant en touffes lâches, d'un vert glaucescent puis brunissant.

Tige rhizomateuse; partie aérienne 2-8 cm de long, simple, munie de rhizoïdes à la base seulement. Le tronçon terminal garni de feuilles serrées est relativement court.

Feuilles inférieures courtes, squamiformes et appliquées, les moyennes et les supérieures 4-6 mm de long, étalées à l'état humide, apprimées à l'état sec; gaine obovale à ellipsoïde, limbe lancéolé à bords entiers puis infléchis sur environ la moitié de la longueur donnant ainsi à l'organe un aspect canaliculé, et enfin prolongé par une pointe hyaline piliforme et armée de dents. *Nervure* excurrente, lisse à la face abaxiale au-dessous de la pointe et dentée dans toutes les directions au delà de ce niveau, garnie sur la face adaxiale de 20-30 lamelles longitudinales unistratifiées dont chacune, vue en coupe transversale, est constituée d'une file de 4-7 cellules semblables à l'exception de la cellule terminale; cette dernière, ovale à pyriforme, présentant une paroi externe très épaissie, verruciforme. *Nervure* et lamelles occupant la plus grande partie du limbe, laissant de chaque côté ses ailes unistratifiées et infléchies. *Cellules* de la gaine jaunâtres, hyalines sur les bords; les paramédiales rectangulaires, 2-3 fois plus longues que larges. *Feuilles périgoniales* obcordées ou obovales, lamellées seulement au sommet. *Feuilles périchétiales* plus longues que les feuilles normales et sans lamelles.

Calyptra chamois, densément poilue, couvrant entièrement la capsule et descendant au-dessous.

Soie 2-4 cm de long, jaunâtre à brun marron, plus pâle dans le bas, flexueuse, formant sous la capsule une apophyse nette. *Capsule* 2-2,5 mm, brunâtre à la maturité, oblique à horizontale. *Opercule* conique muni d'un bec assez long. *Urne* 1,5-2 mm de long, tétragone ou pentagone, brunâtre, garnie de stomates à la base; cellules de l'exothécium tétragones à pentagones, pourvues d'une grosse mamelle portant une petite tache centrale («thin spot») arrondie ou ellipsoïde parfois linéaire, et d'une paroi mince pratiquement pas épaissie aux angles. *Péristome*: 64 dents, 150-200 μm de long, plus ou moins hyalines; membrane basale peu élevée, 40-60 μm .

Sporaison au milieu de l'été.

Dans les terrains secs, surtout les lieux découverts sur les substrats de préférence siliceux, les rochers et les sols sableux; très répandu et s'étendant dans l'Arctique.

Illustrations: Grout, 1972, pl. 64, fig. 1-11; Crum, 1973, fig. 988; Husnot, 1967, tab. LXXVIII; Nyholm, 1969, fig. 447; Lawton, 1971, pl. 10, fig. 15-17; Flower, 1973, pl. 148, fig. 8-10.

Caractérisé par des feuilles munies d'une arête blanchâtre, particulièrement longue au sommet de la feuille, ce polytric, la plus petite de nos espèces, ne peut être confondu. Au Québec, on reconnaît les variétés suivantes.

- A. Feuilles du sommet à pointe entièrement hyaline; tige généralement simple; paroi externe de la cellule terminale des lamelles très épaissie, formant une grosse mamelle 6a. *Polytrichum piliferum* var. *piliferum*
- A. Feuilles pourvues d'une pointe rougeâtre à la base et hyaline à l'extrémité; tige généralement bifurquée .. 6b. *Polytrichum piliferum* var. *hyperboreum* (R.Br.) C. Muell.

6a. *Polytrichum piliferum* Schreb. ex Hedw. var. *piliferum*

Feuille normale à nervure excurrente entièrement hyaline ou presque; cellule terminale de la lamelle aussi large que les cellules inférieures.

Général, très fréquent à toute altitude.

Illustration: Grout, 1972, vol. 1, pl. 64c, fig. 1-13.

6b. *Polytrichum piliferum* Schreb. ex Hedw. var. *hyperboreum* (R. Br.) Albrecht, J. Bot., 72:79. 1934.

Polytrichum hyperboreum R. Br. (non Wahlb.), Suppl. App. Capt. Parry's Voyage: 294. 1823.

Polytrichum boreale Kindb., Bih. K. Svensk. Vet. Ak. Handl., 7(9):52. 1883.

Polytrichum piliferum Schreb. ex Hedw. ssp. *hyperboreum* (R. Br.) Albrecht, J. Bot., 72:79, 107. 1934.

Diocie. Plante petite ou de taille moyenne, verte ou brunâtre, luisant aux extrémités.

Tige 2-10 cm de long, nue ou velue seulement dans le bas, souvent ramifiée soit à la base, soit dans la partie supérieure.

Feuilles squameuses et distantes dans la partie inférieure puis brusquement serrées et lâches vers le milieu; les inférieures courtes, oblongues-lancéolées, cuspidées sauf celles de l'extrême base de la tige; les moyennes et supérieures 4,5-6 mm de long, imbriquées à l'état sec, dressées-étalées à l'humidité, entières ou dentées seulement au sommet, gaine longue mesurant $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ de la longueur de la feuille, obovée, jaunâtre pellucide; limbe lancéolé, canaliculé et muni d'une pointe pilifère brun rougeâtre à la base mais hyaline dans la partie supérieure. *Cellules* terminales des lamelles (vues en coupe transversale) plus larges que les cellules des rangées inférieures, à parois minces ou légèrement épaissies. *Feuilles périgoniales* courtes, à gaine ovale et à limbe cuspidé. *Feuilles périchétiales* très longues, munies de marges larges et hyalines (paraissant blanchâtres sur le sec); nervure excurrente, dentée sur son prolongement, dans toutes les directions; lamelles présentes mais peu élevées souvent pourvues d'une seule rangée de cellules.

Calyptra jaunâtre, ocreuse à rouille, dépassant longuement la capsule et ornée de poils denses,

longs et retombants. *Soie* 1-2 cm, d'une façon générale courte et robuste, brune à rougeâtre; apophyse distincte, discoïde ou annuliforme, et stomatique. *Capsule* 2,5-4,0 mm de long, courte et large, oblique, horizontale à inclinée; *opercule* convexe-conique; *urne* ovale, tétragonue ou pentagone; dents longues et légèrement papilleuses, membrane basale courte; *cellules* de l'exothécium polygonales à paroi mince non épaissie aux angles, montrant au centre une grosse mamille verruciforme puis creusée.

Spores 14-18 μm de diamètre, rondes.

Plante rare, arctique-alpine, présente dans l'extrême nord du Québec. Croît dans les milieux plus ou moins secs, sur roche, sable siliceux ou calcaire, loam fin soit au niveau de la mer, soit en altitude jusqu'à la zone nivale.

Illustrations: Nyholm, 1969, fig. 448; Grout, 1972, pl. 64c, fig. 14-15.

Cette entité qu'Albrecht reconnaissait comme sous-espèce en 1824 diffère du type par ses feuilles plus lâches, la couleur brun-rougeâtre de la base de l'arête, la cellule terminale des lamelles qui est beaucoup plus large et pourvue d'une paroi peu ou pas épaissie.

7. *POLYTRICHUM JUNIPERINUM* Willd. ex Hedw., Sp. Musc.: 89. 1801.

Polytrichum juniperinum Funck, Crypt. Gew. Fichtelgeb., 2:n. 29. 1801.

Polytrichum juniperinum var. *alpinum* Schimp., Syn.: 447. 1860.

Dioecie. Gamétophyte femelle plus grand que le gamétophyte mâle, et pourvue de feuilles plus longues. Plante de taille moyenne pour le genre, vivant en touffes lâches, souvent isolées, parfois très réduites, vert glauque, brunissant avec l'âge à partir de la base.

Tige rhizomateuse; partie aérienne 4-10 cm de long, entourée de rhizoïdes seulement à la base; en coupe transversale, montrant un faisceau axial développé.

Feuilles inférieures très réduites en forme d'écaillés, les moyennes et les supérieures, 5-10 mm de long, étalées-obliques à l'humidité, imbriquées et tordues à la dessiccation, décurren-tes, pourvues à la base d'une gaine oblongue-ovale, jaunâtre, hyaline sur le bord et plus haut, d'un limbe lancéolé canaliculé par ses marges incurvées se touchant à partir de la moitié de la hauteur, et rétréci d'une façon plus ou moins régulière pour se terminer par une pointe rou-

geâtre modérément longue et dentée. *Nervure* excurrente, dentée sur la face abaxiale vers le sommet et dans toutes les directions sur son prolongement au delà des ailes, et garnie, à la face adaxiale, de 30-45 lamelles longitudinales; ces dernières observées en coupe transversale apparaissent comme des files constituées de 5-7 cellules semblables, excepté la terminale qui est nettement plus grande, pyriforme et à paroi externe épaissie; l'ensemble nervure-lamelles s'étendant sur presque toute la largeur du limbe, le reste étant occupé de chaque côté par une marge unistratifiée composée de 10-13 cellules rectangulaires; ces cellules choisies aux $\frac{3}{4}$ de la hauteur de la feuille et vues sur la face adaxiale montrant des formes diverses plus ou moins régulières et souvent des angles arrondis, mais toujours avec grand axe dans le sens transverse. *Feuilles périgoniales* à gaine très élargie, brusquement rétrécies en un limbe triangulaire-linéaire et apiculé. *Feuilles périchétiales* plus longues que les normales, ornées d'une marge hyaline et terminées par une pointe plus longue.

Calyptra brun chamois et poilue, se prolongeant au-dessous de la capsule. *Soie* 2-10 cm de long, brun rougeâtre, jaunâtre dans le haut, plus ou moins flexueuse, légèrement tournée à gauche et formant à l'extrémité une apophyse courte mais distincte. *Capsule* 4-7 mm de long, dressée à horizontale. *Opercule* court, conique, faiblement rostré. *Urne* 2,5-5,0 mm de long, jaunâtre à brunâtre, ovale-oblongue, faiblement plissée, contractée au-dessous de l'apophyse et perforée de stomates à ce niveau; exothécium constitué de cellules arrondies ou elliptiques, à paroi peu épaissie aux angles, et pourvues d'une grosse mamille, ornée au centre d'une petite tache («thin spot») ronde ou oblongue. *Péristome*: 64 dents, 160-170 μm de long, papilleuses, plus ou moins arrondies au sommet; membrane basale courte, 30-50 μm de haut.

Spores, 8-11 μm de diamètre, lisses. Sporaison estivale.

Sur roche ou bois mort, dans les lieux ouverts, les sentiers et les bois de conifères, en bordure des lacs entourés de forêt et aussi sous les feuilles.

Illustrations: Crum, 1973, fig. 989-990; Grout, 1965, fig. 17; Grout, 1972, pl. 64b, fig. 1-10; Jennings, 1951, pl. 33; Flower, 1973, pl. 148, fig. 1-7; Nyholm, 1969, fig. 449.

Au Québec, on reconnaît les deux variétés suivantes.

- A. Partie inférieure de la tige, particulièrement le tronçon feuillé, glabre ou munie de rhizoïdes brunâtres; capsule tétraédrique allongée 7a. *Polytrichum juniperinum* var. *juniperinum*.
- A. Partie inférieure de la tige, partiellement ou entièrement couverte d'un tomentum blanchâtre; capsule courte, presque cubique 7b. *Polytrichum juniperinum* var. *affine* (Funck) Brid.

7a. *Polytrichum juniperinum* Willd. ex Hedw var. *juniperinum*

Plante plutôt courte, 2-7 cm de long; tige inférieure glabre ou pourvue de rhizoïdes bruns; feuilles dressées-étalées à l'humidité, appliquées et droites, parfois à pointe légèrement courbée à l'état sec.

Très répandu dans les lieux secs et bien drainés, de préférence en montagne; moins abondant que la variété *affine* dans la partie habitée du Québec.

Illustration: Jennings, 1951, pl. XXXIII.

7b. *Polytrichum juniperinum* Willd. ex Hedw. var. *affine* (Funck) Brid., Musc., Recent. Suppl. 1: 47. 1806.

Polytrichum juniperinum ex Hedw. var. *gracilius* Wahlenb., Fl. Lappon. 344. 1812.

Polytrichum strictum Menz. ex Brid. Jour. f. Bot. 1800: 286. 1801.

Polytrichum juniperinum Willd. ex Hedw. ssp. *strictum* (Brid) Nyl & Sael. Herb. Mus. Fenn. 65. 1859.

Plante plus grande que le type, différant par les caractères suivants: tige 7-12 cm de long, recouverte d'un tomentum blanchâtre, s'étendant de la base aux feuilles bien développées; feuilles plus distantes et plus petites, 5,5-6,5 mm de long; nombre de lamelles assimilatrices réduit, en moyenne 25-30, rarement plus de 35; capsule courte, urne 2-3 mm, subcubique, presque aussi large que longue.

Croît souvent parmi les sphaignes, dans les tourbières et les forêts de conifères notamment les mélézins, les pinèdes grises, les pessières et les thuyaies.

Illustrations: Grout, 1972, pl 64b, fig. 12-15 (sous le nom de *P. alpestre*). Jennings, 1951, pl. XXXIII (sous le nom de *P. alpestre*). Nyholm, 1969, fig. 449a (sous le nom de *P. juniperinum* var. *gracilius*). Lawton, 1971, pl. 10, fig. 18 (sous le nom de *P. strictum*).

Cette variété que l'on rencontre plus fréquemment que le type est encore traitée comme une espèce distincte par certains auteurs modernes. Malgré que les individus extrêmes puissent être reconnus facilement, il existe de nombreux intermédiaires entre ces entités qui ne se séparent pas aisément. En général, la variété *juniperinum* est moins acidiphile et moins hygrophile que la variété *affine*.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement M. le professeur Bonnot, Université des sciences et techniques de Lille, France, de même que le Dr Crum de l'herbier de l'Université du Michigan, qui ont bien voulu accepter de réviser le texte, ajoutant,

à leur vaste expérience d'éminents bryologues, une critique objective fort appréciée. Ils doivent également leur reconnaissance au Dr Ireland, Musée des sciences naturelles du Canada, Ottawa, pour les prêts de certains spécimens ainsi que pour ses justes conseils relatifs à certaines espèces, et à Mme Jovet-Ast, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, pour le prêt d'échantillons

Références

- BRASSARD, G. R., 1971. The mosses of northern Ellesmere Island, Arctic Canada. II. Annotated list of the taxa. — *Bryologist*, 74: 282-311.
- CRUM, H., 1973. Mosses of the Great Lakes Forest. — *Contr. Univ. Mich. Herb.*, 10: 1-404, 1060 fig.
- CRUM, H., 1976. Mosses of the Great Lakes Forest. Revised edition. — *Herbarium, Univ. Mich.* 404 p.
- CRUM, H., W. C. STEERE & L. E. ANDERSON, 1973. A new list of mosses of North America north of Mexico. — *Bryologist*, 76: 85-130.
- DIXON, H. N., 1970. The student's handbook of British mosses, 3rd ed., — Wheldon & Wesley Ltd, Codicote, 582 p., 63 pl. Reprint of 1924 ed., Sumfield, Eastbourne.
- FLOWERS, S., 1973. Mosses: Utah and the West. — Brigham Young University Press, 567 p.
- FRYE, T. C., 1948. *Atrichum oerstedianum*. — *Bryologist*, 51(4): 242-246.
- GROUT, A. J., 1965. Mosses with hand lens and microscope. — Lundberg, Ashton, 416 p. Reprint of 1903 ed.
- GROUT, A. J., 1972. Moss flora of North America, north of Mexico. — Hafner, New York, 3 vol., 817 p. Reprint of original ed., 1928-40.
- HEDWIG, J., 1960. *Species muscorum frondosorum*. — Cramer, Weinheim, 353 p. Réimpression de l'éd. de 1801.
- HUSNOT, T., 1967. *Muscologia gallica*. Descriptions et figures des mousses de France et des contrées voisines. 1^e partie: Acrocarpes. 2^e partie: Pleurocarpes. — Asher, Amsterdam. Réimpression de l'éd. originale, 1884-1890 et 1892-1894.
- IRELAND, R. R., 1969. Taxonomic studies on the genus *Atrichum* in North America. — *Can. J. Bot.*, 47: 353-368.
- JENNINGS, O. E., 1951. A manual of the mosses of western Pennsylvania, ed. 2. — Univ. Notre Dame Press, Indiana, 396 p.
- LAWTON, E., 1971. Moss flora of the Pacific Northwest. — *J. Hattori bot. Lab., Suppl. No. 1*, Nichinan, Japan, 362 p., 195 pl.
- LEPAGE, E., 1945. Les lichens, les mousses et les hépatiques du Québec, et leur rôle dans la formation du sol arable dans la région du bas de Québec, de Lévis à Gaspé. — *Naturaliste can.*, 72: 252-257.

- MIYOSHI, N., 1969. On the structure of the spore surface in the Musci, I. *Miscnea bryol. lichen.*, 5: 57-58.
- NYHOLM, E., 1969. Illustrated moss flora of Fennoscandia II. Musci, fasc. 6. — Lund, p. 647-799.
- NYHOLM, E., 1971. Studies in the genus *Atrichum* P. Beauv. A short survey of the genus and species. — *Lindbergia*, 1: 1-33.
- PODPERA, J., 1954. *Conspectus muscorum europaeorum*. — CSAV, Prague.
- SMITH, G. L., 1971. A conspectus of genera of Polytrichaceae. — *Mem. N.Y. Bot. Gard.*, 21(3): 1-83.
- SULLIVAN, W. S., 1969. *Icones muscorum*. — Asher & Co., Amsterdam, et S. H. Service Agency, New York, 216 p., 128 pl. Réimpression de l'éd. de 1864.
- TANSLEY, A. G. & E. CHICK, 1901. Notes on the conducting tissue-system in Bryophyta. — *Ann. Bot.*, 15: 1-38, pl. 1, 2.

EFFETS D'UN APPORT D'AZOTE SUR LES RENDEMENTS ET LE CONTENU EN AZOTE TOTAL DE LA LUZERNE (*MEDICAGO SATIVA L.*)¹

Marcel GIROUX

Service de recherche en sols, Ministère de l'agriculture
et de l'alimentation du Québec, Sainte-Foy, Québec G1P 3W8

Résumé

Le but de cette expérience est d'étudier l'effet de la fertilisation azotée sur le rendement de la luzerne (*Medicago sativa L.*) sur deux sols différents. L'apport de 0, 20, 40, 60 kg/ha d'azote est effectué avant le semis et autant à la reprise l'année suivante. En sol Neuboiss, la luzerne profite de la fumure azotée jusqu'à 40 kg/ha fournie avant le semis. En sol Saint-Urbain, aucun effet n'est observé. À la reprise l'année suivante, l'apport d'azote n'apparaît pas une pratique rentable. La teneur en azote total de la luzerne est peu affectée par la fertilisation azotée aux doses choisies. Certaines parcelles à faible rendement présentent toutefois une concentration moindre d'azote dans la plante.

Abstract

The objective of this experiment was to determine the effects of N fertilization on the yields of alfalfa (*Medicago sativa L.*) grown on two soil series. The treatments consisted of applying 0, 20, 40, and 60 kg/ha before seeding, and repeating the treatments in the spring of the following year. When applied before seeding, N-fertilization, at levels up to 40 kg N/ha, increased alfalfa yields the first year on the Neuboiss soil only, but nitrogen fertilization did not affect yields on the Saint-Urbain soil. The N concentration in alfalfa increased slightly with yields and N fertilization. Nevertheless, it has been noticed that on some low yield plots the crop contains less nitrogen than the others.

Introduction

En dépit du fait que la culture de la luzerne (*Medicago sativa L.*) connaît depuis une dizaine d'années une expansion considérable, les problèmes relatifs à l'implantation, la longévité et la fertilisation des luzernières préoccupent encore les agriculteurs et les agronomes du Québec.

Les effets des aléas climatiques et pédologiques sur la croissance de la luzerne n'ont pas encore été étudiés de façon approfondie. Pourtant l'effet des éléments nutritifs est régi en partie par ces conditions. L'influence d'apport d'azote minéral à l'implantation et à la reprise des luzernières mérite d'être considérée.

Certains travaux tendent à démontrer le bienfait de cet apport. Richardson *et al.*

(1957) trouvent que, même si l'apport d'azote inhibe la fixation symbiotique, un apport restreint fournit une nodulation optimale par le biais d'une croissance rapide du système racinaire.

Lespérance (1969) avance l'hypothèse d'un besoin d'azote au début de la saison de croissance pour les légumineuses au Québec. Le lent réchauffement du sol au printemps pourrait fort bien, à son avis, être la cause d'un assez long décalage entre la germination et le plein développement des nodosités.

Par contre, Richardson *et al.* (1957), Dixon (1969), Nelson (1971) et Gibson (1976) montrent les effets néfastes d'un apport d'azote sur la symbiose ou la nodulation des légumineuses.

Compte tenu des avantages et des inconvénients de la fertilisation azotée de la luzerne, le but de ce travail est de confirmer ou d'infirmer les résultats des auteurs cités, sous nos conditions. En d'autres termes

¹ Contribution n° 254 de la Direction générale de la recherche et de l'enseignement agricole, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation du Québec.

nous voulons savoir si nos sols sont capables d'assurer l'auto-suffisance en azote de la luzerne ou sinon quelle devrait être la dose nécessaire à l'implantation et à la reprise l'année suivante.

Matériel et méthodes

Les traitements s'établissaient comme suit: 0, 20, 40, 60 kg/ha d'azote sous forme de nitrate d'ammonium ont été apportés à l'implantation et autant à la reprise l'année suivante. Le reste de la fumure comportait 60 kg/ha P_{2O_5} et 75 kg/ha K_2O à chaque coupe.

L'essai a été réalisé selon un dispositif en blocs aléatoires à quatre traitements et à quatre répétitions. Il s'est échelonné sur deux ans. Les sols choisis (tableau I) sont le loam limono-argileux Neuboiss à Saint-Lambert-de-Lévis décrit par Pageau (1976) et l'argile Saint-Urbain à Saint-Hyacinthe décrite par Laplante (1959). Seule cette dernière avait déjà été cultivée en luzerne.

Le sol acide Neuboiss a reçu un apport de 4 t/ha de chaux l'automne précédant le début de l'essai. Le semis a été effectué au cours de la dernière quinzaine de mai avec le cultivar Saranac au taux de 15 kg/ha. L'inoculant utilisé est le produit commercial en poudre Nitragin. La coupe s'effectuait au début de la floraison. Les rendements étaient d'abord évalués sur une base de matière sèche pour une superficie de 10 m²; puis on les exprimait en kg/ha sur une base de 20% d'humidité. Un échantillon de 500 g prélevé au moment de la récolte a permis d'en connaître la teneur en eau et en azote total. Le dosage de l'azote a été réalisé selon les techniques décrites par Varley (1970). Quatre coupes successives ont été prélevées sur les deux luzernières.

L'analyse des sols a porté sur le pH à l'eau dans un rapport sol-eau de 1:1. Le phosphore Bray-P-2 a été déterminé selon la procédure décrite par Bray et Kurtz (1945). Le potassium, le calcium et le magnésium ont été extraits à l'acétate d'ammonium et dosés par spectrophotométrie d'émission ou d'absorption dans la flamme. La matière organique a été déterminée selon la méthode Walkley-Black décrite par Black (1965).

Les méthodes statistiques usuelles ont été appliquées afin de déterminer si les traitements influent sur le rendement et la teneur en azote de la luzerne: ce sont le test F de Fisher et le calcul des régressions linéaires ou polynomiales décrits par Snedecor (1956). Des considérations économiques sont également apportées sur ces fonctions de productions. D'après les techniques décrites par Lecompt (1965), en égalisant la dérivée de ces fonctions de productions respectivement à 0 et à 12 (productivité limite, il faut produire environ 12 kg de luzerne pour rentabiliser 1 kg N), on obtient la fumure azotée produisant le rendement maximum et optimum.

Résultats et discussion

FERTILISATION AZOTÉE D'IMPLANTATION

L'effet de l'azote sur le rendement est différent dans les deux sols étudiés (tableau II). On double ce dernier dans le sol Neuboiss avec une dose de 40 kg/ha d'azote, fournie au moment de l'implantation. Une telle observation implique sans doute une limitation grave à la symbiose. Le départ lent de cette luzernière laissait présager une situation semblable.

On peut quantifier la relation entre l'azote (x, en kg/ha) et la production (y, en kg/ha)

TABLEAU I

Caractérisation chimique et pédologique des sols utilisés avant le chaulage

Site	Texture (série)	pH (sol:eau, 1:1)	M.O. (%)	P-Bray-2 (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
Saint-Lambert	Loam limono-argileux (Neuboiss)	5,5	4,4	35	60	1135	91
Saint-Hyacinthe	Argile (Saint-Urbain)	6,4	5,9	173	194	3480	443

TABLEAU II

Fonction de production de la luzerne selon les doses d'azote pour différentes coupes à différents sites

<i>Sol</i>	<i>Fonction de production</i> ¹		<i>R</i> ²
Neubois	Implantation	$y = 1045 + 36,36x - 0,299x^2$	85,2%
	Entretien	$y = 3915 - 0,4x$	0,11%
Saint-Urbain	Implantation	$y = 1332 + 3,15x$	28,7%
	Entretien	$y = 4747 - 2,862x$	1,9%

¹ 16 observations (4 doses N et 4 répétitions) ont servi à établir les fonctions de production.

y = rendement (kg/ha)

x = dose d'azote (kg/ha)

R² = coefficient de détermination

de luzerne par une équation du second degré (tableau II) :

$$y = 1045 + 36,36x - 0,299x^2$$

$$\frac{dy}{dx} = 36,36 - 0,598x$$

En égalisant cette dérivée à 0 et à 12 (productivité limite), on obtient la fertilisation azotée maximale et optimale.

$$y \text{ max.} = 2150 \text{ kg/ha} \quad y \text{ opt.} = 2030 \text{ kg/ha}$$

$$x \text{ max.} = 60,8 \text{ kg/ha} \quad x \text{ opt.} = 40,7 \text{ kg/ha}$$

Les considérations économiques viennent confirmer l'importance de l'apport d'azote minéral à l'implantation pour ce site. La fumure optimale double même la recommandation suggérée de 20 kg/ha N.

Il est cependant difficile de connaître l'origine des limitations d'azote dans ce sol. Les antécédents culturaux indiquent qu'on n'y a jamais cultivé de luzerne et, du côté chimique, on peut aussi se demander si ce sol possédant une capacité d'échange élevée n'aurait pas eu besoin de plus de chaux pour assurer une symbiose plus active.

Quant au sol Saint-Urbain, aucun effet appréciable de l'azote n'est observable sur les rendements (tableau II). D'ailleurs, la valeur de la pente de cette fonction de production le montre bien. La productivité de l'azote est inférieure à la productivité limite.

$$y = 1332 + 3,15x$$

L'augmentation de rendement attribuable à l'azote ne couvre pas les coûts de production. Le fait de fournir de l'azote minéral n'affecte pas les rendements et occasionne des

frais d'achat qui en font une pratique non rentable pour ce site.

FERTILISATION AZOTÉE D'ENTRETIEN

Aucun effet sur les rendements n'est observé en fournissant de l'azote minéral au moment de la reprise le printemps suivant (tableau III). Même le sol Neubois, qui montrait une réponse à l'azote à la première coupe, ne réagit plus à cet apport.

Il semble que l'hypothèse de Lespérance (1965), concernant l'effet de l'azote sur le départ des légumineuses, ne soit pas vérifiable à la reprise des luzernières, sous nos conditions expérimentales.

Par ailleurs, les basses températures du sol au printemps affectent le métabolisme de toute la plante. Il nous apparaît donc que fournir de l'azote minéral ne peut suffire à relancer l'activité métabolique de la plante.

CONTENU EN AZOTE TOTAL DU VÉGÉTAL

L'analyse statistique du contenu de la plante en azote total ne permet pas d'affirmer qu'il existe une relation entre l'azote du végétal et celui de la fumure. Cependant, certaines parcelles dont le contenu en azote total est bas possèdent un rendement relatif plus faible.

Conclusion

L'implantation des luzernières s'est révélée le moment le plus critique concernant l'auto-suffisance en azote. Il peut survenir des limitations à la disponibilité de l'azote

TABLEAU III

Rendement et contenu en azote total de la luzerne selon les doses d'azote

Dose (x) (kg/ha)	Rendement (y) (kg/ha) Coupe 1	N-total % Neubois	Rendement (y) (kg/ha) Coupe 2	Rendement (y) (kg/ha) Coupe 1	N-total % St-Urbain	Rendement (y) (kg/ha) Coupe 2
0	1090	2,83	3710	1350	3,07	4650
20	1510	2,83	3920	1395	3,14	5030
40	2160	3,11	3740	1410	3,24	4250
60	2100	3,04	3990	1555	3,24	4715
¹ F calculé	33,3**	3,12 (N.S.)	1,77(N.S.)	2,54(N.S.)	0,85(N.S.)	1,80(N.S.)
C.V.	10,30%	5,50%	5,30%	4,90%	5,72%	10,20%
ppds	646	0,26	327	329	0,29	763

** Significatif au seuil de probabilité de 0,01

(N.S.) Non significatif au seuil de probabilité de 0,05

¹ Il s'agit de la valeur F calculée à partir de l'analyse de variance des rendements.

F (3,9) critique à 0,05 = 3,86

F (3,9) critique à 0,01 = 6,99

qui font que les rendements peuvent être affectés, comme c'est le cas pour le sol Neubois.

La recommandation actuelle de 20 kg/ha constitue donc une sorte d'assurance, mais ne saurait être la fertilisation optimale pour l'ensemble des luzernières. Le sol Saint-Urbain, par exemple, ne bénéficie pas de l'apport d'azote alors que le sol Neubois en profite jusqu'à 40 kg/ha. Comme on prend conscience de ces limitations une fois l'implantation réalisée, la recommandation actuelle semble justifiée. Il est tout de même intéressant de noter que le sol Saint-Urbain assure un rendement optimal sans apport d'azote.

À la reprise l'année suivante, il est superflu de recommander de l'azote puisque la symbiose fonctionne avec beaucoup plus de vigueur. Dans les deux cas, nous n'avons pas obtenu de réponse.

Il serait souhaitable que les essais se poursuivent sur d'autres types de sol, toujours en considérant les facteurs pédologiques et climatiques. Il y a d'énormes avantages à connaître l'aptitude d'un sol à la culture de la luzerne, puisque c'est une plante d'avenir fournissant un bon rendement de qualité.

Références

- BLACK, C.A., 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy: p. 999-1034, p. 1372-1378. — Am. Soc. Agron., Madison, Wis., 1572 p.
- BRAY, R.H. & L.T. KURTZ, 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soils. — Soil Sci., 59: 39-45.
- DIXON, R.O.D., 1969. Rhizobia (with particular reference to relationships with host plant). — A. Rev. Microbiol., 23: 137-158.
- GIBSON, A.H., 1976. Recovery and compensation by nodulated legumes to environmental stress. — Pages 385-403 in Nutman, P.S. (ed.). Symbiotic nitrogen fixation in plants. Int. Biol. Program, no. 7, Cambridge Univ. Press, London, 584 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. — INRA, France, 92 p.
- LESPÉRANCE, R., 1969. Problèmes de la fertilisation du soja. — Bull. Inf. Serv. Docum. gén. Org. agric. Min. Agr. Colon. Québec, B, 10 p.
- NELSON, W.L., 1971. Fertilization of soybeans. — Oleagineux, 26: 101-107.
- PAGEAU, E., 1976. Rapport pédologique du comté de Dorchester. — Div. Sols Dir. gén. Rech. Ens. Min. Agr. Québec, 94 p.
- RICHARDSON, D.A., D.C. JORDAN & E.H. GARRARD, 1957. The influence of combined nitrogen on nodulation and nitrogen fixation by *Rhizobium meliloti*. — Can. J. Plant Sci., 37: 205-214.
- SNEDECOR, G.W., 1956. Statistical methods. 5th ed. — Iowa St. Univ. Press, Ames, Iowa, U.S.A., 534 p.
- VARLEY, J.A., 1970. Automatic methods for determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plant material. — Analyst, 91: 119-126.

ZOOPLANKTON OF THE LOWER MATAMEK RIVER, QUÉBEC¹

John C. H. CARTER

Department of Biology, University of Waterloo, Waterloo, Ontario N2L 3G1

Résumé

Les échantillons de zooplancton prélevés toutes les 48 h, de juin à septembre 1977, à six stations sur la rivière Matamek, montrent une diminution continue du nombre de Crustacés limnétiques, du lac Matamek au golfe du Saint-Laurent. Ce phénomène ne fut pas observé chez les Rotifères. Le nombre total d'organismes entraînés par la rivière dans ces quatre mois est estimé à 13×10^9 et leur poids sec à 6 kg.

Abstract

Zooplankton abundances over consecutive 48-h intervals at six stations on the lower Matamek River during 4 mos of 1977 showed a general decline in numbers of limnetic Crustacea between Lake Matamek and the Gulf of St. Lawrence. Rotifers did not show a similar pattern of continuous decrease. Total numbers of zooplankters moving down the river during this period was crudely estimated as 13×10^9 with a dry weight of 6 kg.

Introduction

Several studies have shown that rivers that drain standing waters of any kind are invariably rich in zooplankton and other microinvertebrates (e.g. Cushing, 1964; Enaceanu, 1964; Clifford, 1972a, b). This is not surprising because standing waters are the normal habitat of zooplankton and a certain proportion would be expected to be trapped in outflows. When a river drains a lake there is usually a sharp decrease in zooplankton abundance with distance downstream from the lake's outflow as the animals become crushed, stranded, or captured by predators (e.g. Cushing, 1964).

The larger zooplankters of the lower Matamek River, Québec have already been examined in part by Gibson and Galbraith (1975). The object of the present study was to collect fine mesh net samples at a number of stations along this river and observe the rates at which zooplankton was lost in transit from Lake Matamek to the sea. Then the potential value of the lake in supplying food to vertebrate and invertebrate predators in the river and the extent to which this food might be utilized could be assessed.

Study area

The Matamek River is situated at approximately 50°18'N and 65°57'W and flows into the Gulf of St. Lawrence about 30 km east of Sept-Iles (Fig. 1). The lower river drains Lake Matamek (1620 ha, max. depth 100 m) and flows 9.5 km to the Gulf. It descends approximately 115 m through a short rapids at the lake outlet and five waterfalls downstream. The 5th falls is 3.1 km from the rapids while the other four are spaced at somewhat lesser intervals. The only major tributary is the Muskrat River which enters a short distance below the 2nd falls. While the river is fairly narrow and of moderate depth over most of its course, there are several backwaters, particularly in the upper half, as well as two small interconnecting lakes 1.1 km above the 5th falls.

Discharge at the lake outlet during 1977 was greatest in late May, falling to a low in mid-July and increasing slightly during the remainder of the season (Fig. 2a). Changes in volume of discharge were immediately reflected in equivalent changes in water level downstream. At the 2nd falls the water level fell to a seasonal low in mid-July after which

¹ Contribution no. 40 of the Matamek Research Station.

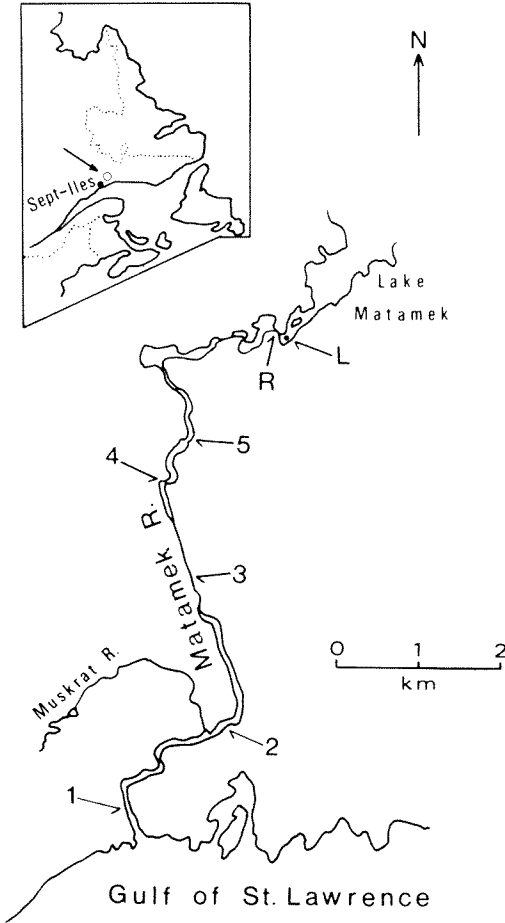


Figure 1. Map of lower Matamek River showing sampling stations. Stations 1-5 were directly below the 1st to 5th falls respectively. Station R was directly below the outflow rapids while Station L was 40 m inside Lake Matamek.

a series of small increases in discharge each resulted in rises of 20 cm or more (Fig. 2b).

Methods

Samples were collected in 1977 with drift monitors fashioned on the reverse funnel plan (Stocker, 1972) and were similar to those used previously in Gibson and Galbraith's (1975) study. Each comprised an aluminum hopper with an opening at the upstream end 2.5 cm wide and 20 cm high. The downstream opening, 20 × 20 cm, was fitted with a nylon plankton net 1.7 m long and with no. 25 mesh (apertures 64 μm). A

plexiglass collecting bucket was attached to the tapered end of the net. Because some clogging of the fine mesh was suspected in the early stages of the project the opening at the upstream end of each hopper was reduced from 20 cm in height to 8 cm by taping off both the top and bottom. Subsequently no clogging of the nets was observed.

A single drift monitor was set at a station in well mixed waters beneath each falls and the outflow rapids (Fig. 1) and the plankton sample was collected normally every 48h. Each monitor was moved as little as possible although changes in water levels made some adjustments necessary. The nets were removed and washed frequently and on the rare occasions when a net was torn it was changed and the sample discarded. Due to logistic difficulties and excessive velocity of the current in early June the sampling periods differed between stations: Station 1 from June 22 to October 1; Station 2, 3 and 4 from June 2 to October 1; Station 5 from June 12 to October 1; Station R from June 24 to August 17.

Current velocities, which ranged between 0.16 and 0.68 m/s, were recorded at the beginning and completion of each 48-h sampling run immediately upstream from the monitor at each station with an Ott C-2 current meter. The mean of the two values was used in calculating the volume of water filtered.

In addition to the river collections a station was established within the lake approximately 40 m from the outflow at a depth of 16 m. Single vertical hauls with a conical net of no. 25 mesh and mouth diameter of 0.5 m were taken from bottom to surface, 4 m to surface and 2 m to surface on eight occasions between June 24 and August 27.

Samples were preserved in 10% formalin. In the laboratory aliquots of 25 ml were extracted from the well-mixed samples which were often diluted several times because of accumulated sediment. Under a dissecting microscope the aliquots were fully analyzed until at least 300 crustaceans and 200 rotifers were counted from each sample, or the whole sample was analyzed when smaller numbers were present. The totals counted were then expressed as numbers/m³ in accordance with the volumes of water flowing through each monitor.

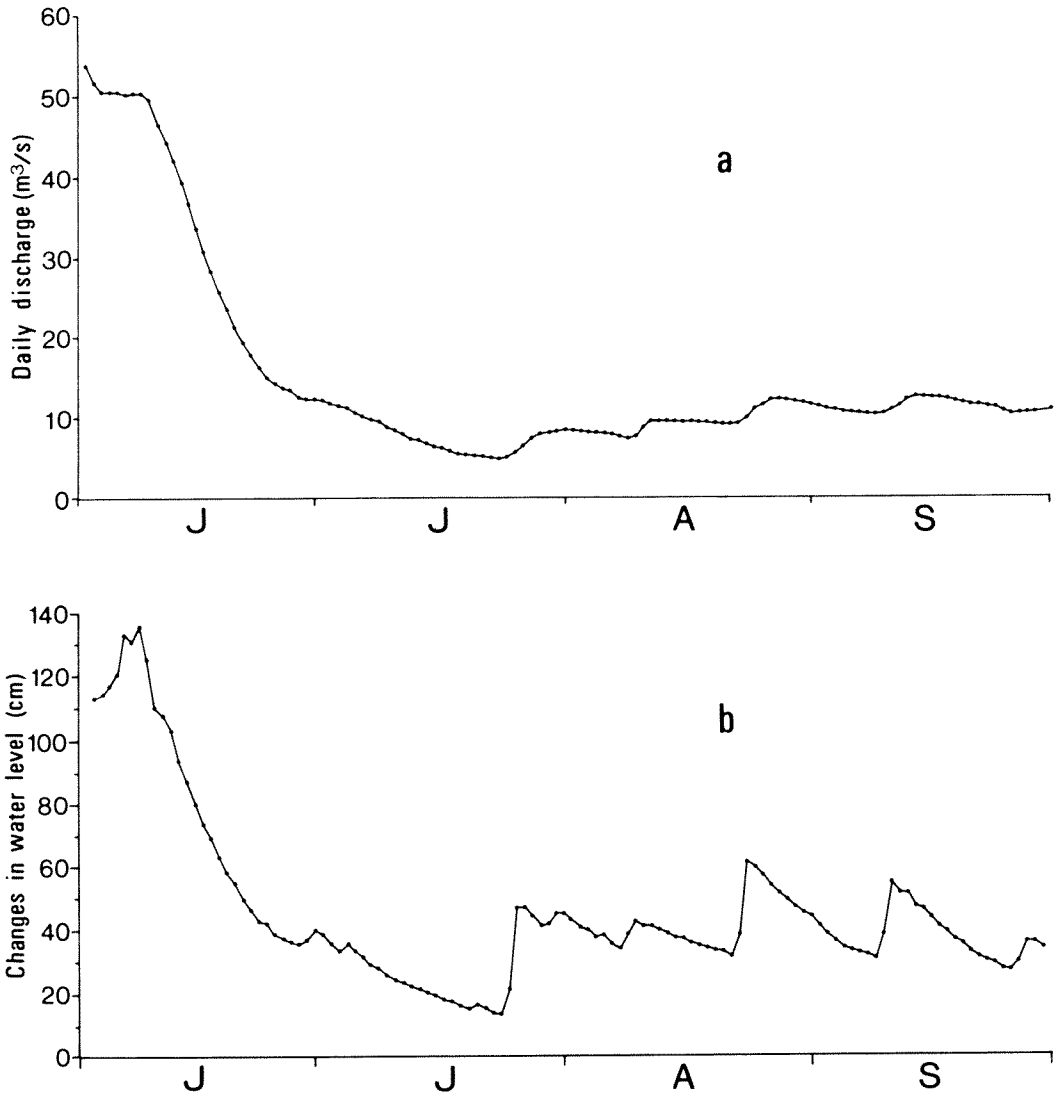


Figure 2. Daily discharge of water at the lake outlet (a) and changes in water level below the 2nd falls (b) during 1977.

Results and discussion

The zooplankton collected in the lower Matamek River during 1977 consisted almost entirely of six species, the copepods *Diaptomus minutus* and *Cyclops scutifer*, the cladoceran *Bosmina longirostris*, and the rotifers *Keratella cochlearis*, *K. taurocephala* and *Kellicotia longispina* (Table I).

Crustacean plankton was most abundant in June at all stations except Station 1 where sampling started late (Fig. 3). In the copepod copepodites and Cladocera this spring pulse was more prolonged at the upstream sta-

tions, extending into July. In the copepod nauplii numbers dropped off at all stations except R after mid-June, probably as a result of rapid development to copepodite stages in Lake Matamek. From early July through October 1, numbers were generally low in all three crustacean groups although brief pulses occurred at the upstream stations which were probably related to the periodic increases in discharge after mid-July (Fig. 2a).

One might expect to find a pattern of steadily declining abundance progressing

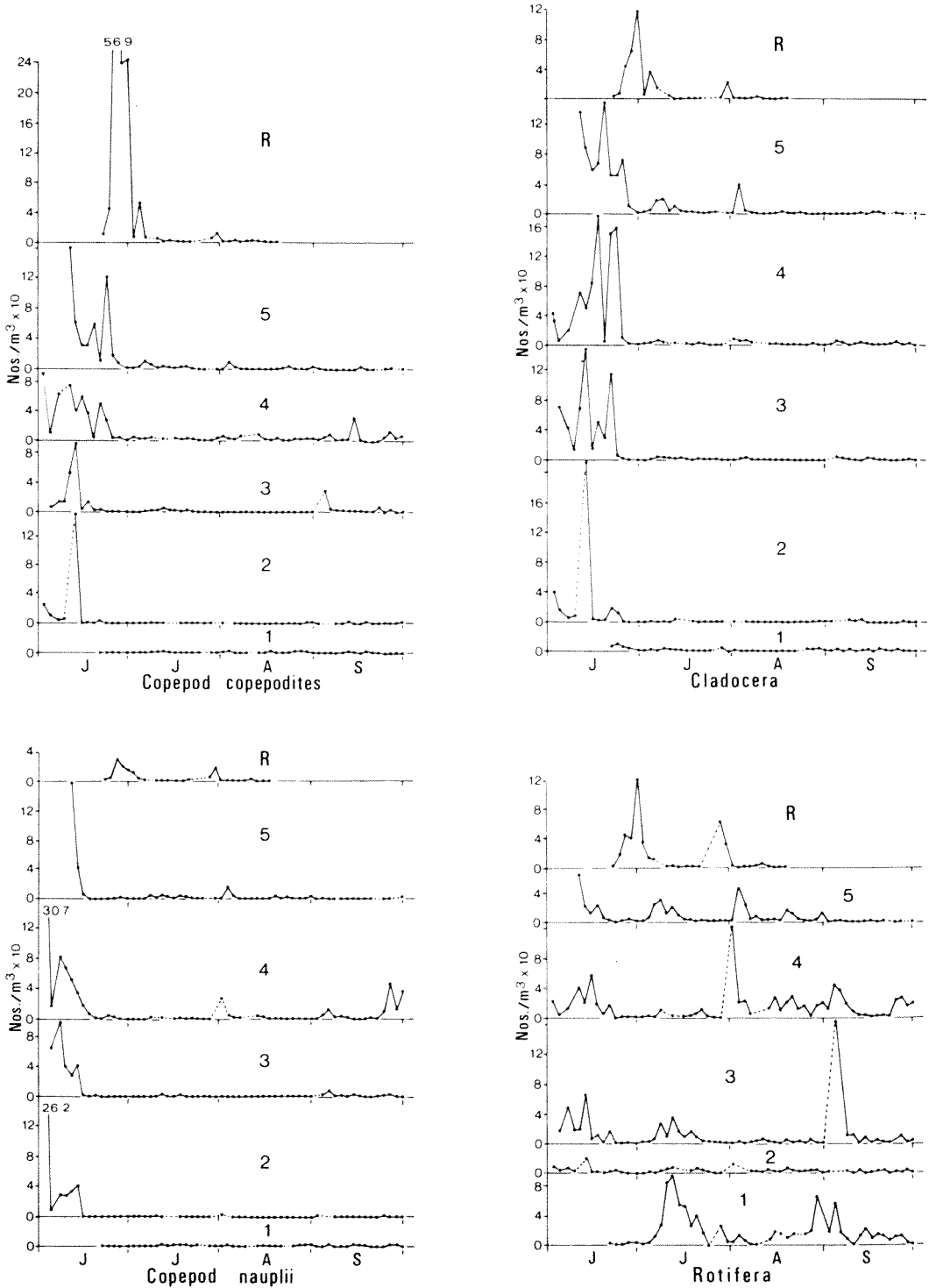


Figure 3. Numbers of the four major zooplankton groups collected at Stations 1-5 (1st to 5th falls) and R (outflow rapids) during 1977. Dotted lines indicate an intervening sample was discarded.

TABLE I

Percentage abundances of genera or species within each of the Copepoda, Cladocera and Rotifera collected at all stations in the lower Matamek river from June 12 through October 1, 1977

Genus or species	Abundance (%)
Copepoda	
<i>Diaptomus minutus</i>	61.3
<i>D. oregonensis</i>	0.4
<i>Epischura lacustris</i>	0.1
<i>Cyclops scutifer</i>	36.4
<i>Mesocyclops edax</i>	0.8
<i>Tropocyclops prasinus mexicanus</i>	1.0
Cladocera	
<i>Bosmina longirostris</i>	97.2
<i>Daphnia longiremis</i>	0.3
<i>Acroperus harpae</i>	0.4
<i>Alona</i> spp.	0.7
<i>Chydorus</i> spp.	1.4
Rotifera	
<i>Keratella cochlearis</i>	41.8
<i>K. taurocephala</i>	39.1
<i>Kellicotia longispina</i>	13.4
<i>Brachionus</i> spp.	5.5
<i>Asplanchna</i> spp.	0.2

downstream from the rapids station, and generally this was true. In the copepodites the highest June peaks occurred at the rapids with either lower or fewer peaks proceeding downstream. In the nauplii and the Cladocera there is no obvious trend although at Station 2, with the exception of a single peak on June 14, numbers of Cladocera were much lower in June than at the four stations upstream. However, when numbers are considered on a seasonal basis a more definite spatial pattern emerges. Fig. 4 shows mean numbers/m³ during the total time sampled at each of the six stations between June 12 and October 1. Copepodites declined from a high of 47/m³ at the rapids to about 0.2 at Station 1. Nauplii rose slightly between the rapids and Station 4 before declining steadily through Station 1. Cladocera were highest at Station 5 and then declined consistently through Station 1. Lower than expected numbers at the rapids can be explained by the absence of samples before late June. These results are in accord with those of Gibson and Galbraith (1975) who found generally lower numbers of cladocerans and copepods at the second falls than at the fifth falls. The rotifers show a pattern different to all crustacean groups

with highest numbers at Stations R, 4 and 1 and lowest at 5 and 2. Undoubtedly rotifers are fed into the main flow from a number of sources, most particularly from numerous backwaters between Stations 5 and 4 and from the Muskrat River. This phenomenon in other rivers has been noted by Hynes (1972).

To obtain rough estimates of total numbers of various zooplankton categories moving down the river, I calculated means of Stations 2, 3, 4 and 5 for each 48-h period. (Stations R and 1 were excluded because of incomplete sampling). These were then multiplied by the corresponding discharge volumes (Fig. 2a) and the resulting values totalled for each month (Table II). Numbers were translated into crude biomass (dry weight) estimates, either by using published values for individual species or instars which seemed most appropriate to represent a group (e.g. *K. cochlearis* as the representative rotifer and *D. minutus* Nauplius 3 as the representative nauplius) or by calculating the mean length of a large number of individuals of a species and reading of weights from weight vs. length curves in the literature (e.g. *C. scutifer*, *B. longirostris*) (Table II). Somewhere in the order of 13 billion zooplankters with a dry weight of 6 kg were carried down the higher reaches of the lower Matamek River during the period of study. As expected by far the highest fraction of all categories was carried in June: despite some increases in September less than 8% of numbers and 4% of biomass was collected after July 1. This is undoubtedly in part a function of discharge and may not occur every year. During 1973, Gibson and Galbraith (1975) had numerical peaks of cladocerans and calanoid and cyclopoid copepods in July and September which were slightly higher than those in June. Clearly a great deal of annual variation is to be expected, however, since they did not include nauplii in their study, and, since these normally attain highest numbers in spring, it is possible that the results for 1977 are more typical.

Capture of limnetic zooplankters by a lake's outflow is largely dependent upon their vertical distribution within the lake, animals living near the surface standing a greater chance of being trapped than those in deeper waters. Lake Matamek is a highly colored body of water in which incident radiation is rapidly absorbed with depth (Janus, 1976). Consequently, much of the

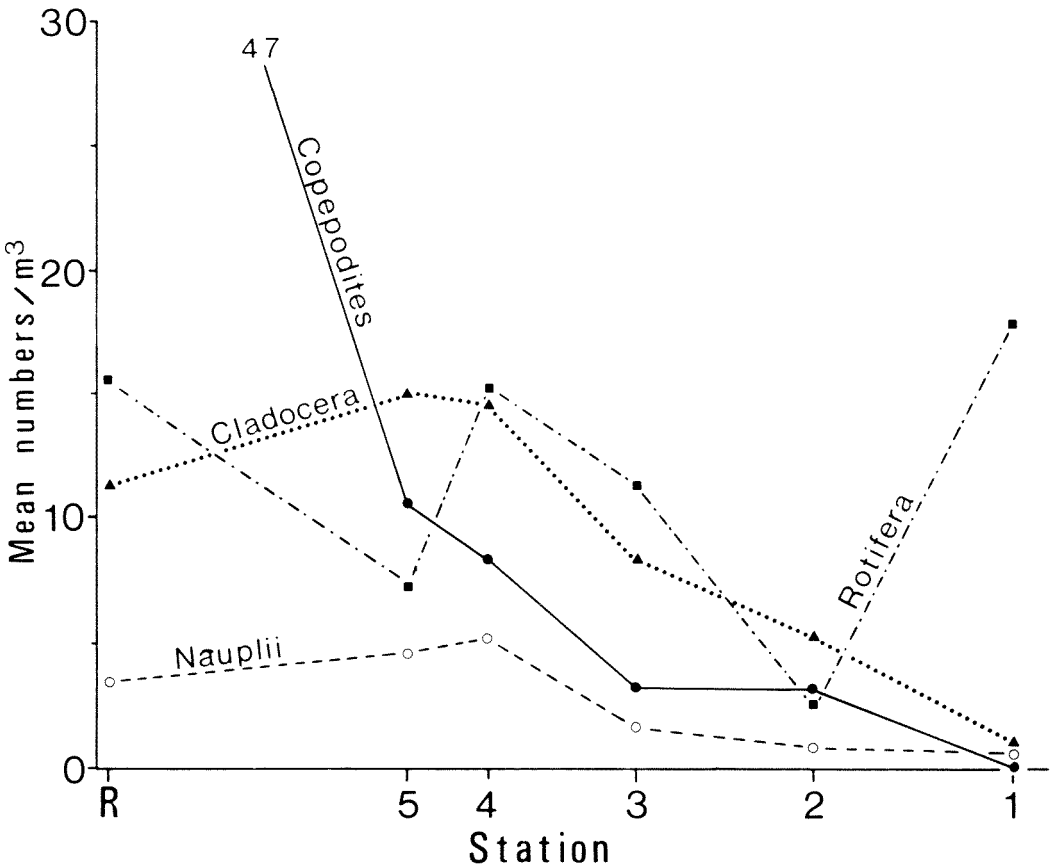


Figure 4. Mean numbers/m³ of the four major zooplankton groups collected at each station after June 12.

primary and secondary production is confined to the uppermost waters of the epilimnion. This is brought out in Figure 5 where large fractions of both crustaceans and rotifers are seen to occupy the top 2 m of the lake. With any upward migration these fractions would be even greater at night. Lake Matamek would therefore be expected to lose a higher proportion of its zooplankters than more transparent lakes where the zooplankters occupy deeper strata.

The importance of limnetic zooplankters to the fish populations of rivers flowing out of lakes has been widely debated. It was found by Schiefer (1971) that in North Shore Gulf of St. Lawrence rivers growth of salmon parr was most rapid in rivers draining lakes although factors other than increased food supply may be involved. Zooplankters might be predated directly by planktivorous fish or they could form a component in the food

supply of stream insects, particularly net-spinning trichopterans (see Cummins, 1973), which are themselves an important source of fish food. The lower Matamek River contains a number of fish species (Power *et al.*, 1973). The two most important planktivores, at least as fry, are brook trout, *Salvelinus fontinalis*, and Atlantic salmon, *Salmo salar* (up to the 4th falls only). Gibson and Glabraith (1975) noted the much higher production of salmonids below the 5th falls than below the 2nd falls. They attributed this to the greater abundance of insect drift at the 5th falls which they supposed in turn was mainly the result of a rich supply of zooplankton from the lake. However, the extent to which stream insects feed on zooplankton in the Matamek River is conjectural pending a detailed study of insect abundances, life histories and feeding habits. Nevertheless, 6 kg of food over a 4 mo period seems almost

TABLE II

Estimated total numbers and dry weights of zooplankters moving through lower Matamek River, June 3 through October 1, 1977 as means of Stations 2-5

Category	June 3-30	July 1-31	August 1-31	Sept. 1-Oct. 1	June 3-Oct. 1
<i>D. minutus</i> copepodites					
Nos. $\times 10^6$	1,099	15	11	48	1,173
Wt. (g) ^a	1,208	17	13	53	1,291
<i>C. scutifer</i> copepodites					
Nos. $\times 10^6$	1,146	6	3	13	1,166
Wt. (g) ^b	732	4	2	8	745
Copepod nauplii					
Nos. $\times 10^6$	4,814	4	21	84	4,923
Wt. (g) ^c	1,251	1	5	21	1,280
<i>B. longirostris</i>					
Nos. $\times 10^6$	3,702	42	27	22	3,793
Wt. (g) ^d	2,665	31	19	16	2,731
Rotifera					
Nos. $\times 10^6$	1,246	117	217	336	1,916
Wt. (g) ^e	87	8	15	24	134
Totals					
Nos. $\times 10^6$	12,005	184	279	502	12,971
Wt. (g)	5,944	61	54	123	6,181

^a Designated weight of Copepodite III = 1.10 μg (Cooley, 1973)

^b Mean weight of copepodites = 0.64 μg (Bottrell *et al.*, 1976)

^c Designated weight of *D. minutus* Nauplius 3 = 0.26 μg (Cooley, 1973)

^d Mean weight of all instars = 0.72 μg (Bottrell *et al.*, 1976)

^e Designated weight of *K. cochlearis* = 0.07 μg (Bottrell *et al.*, 1976)

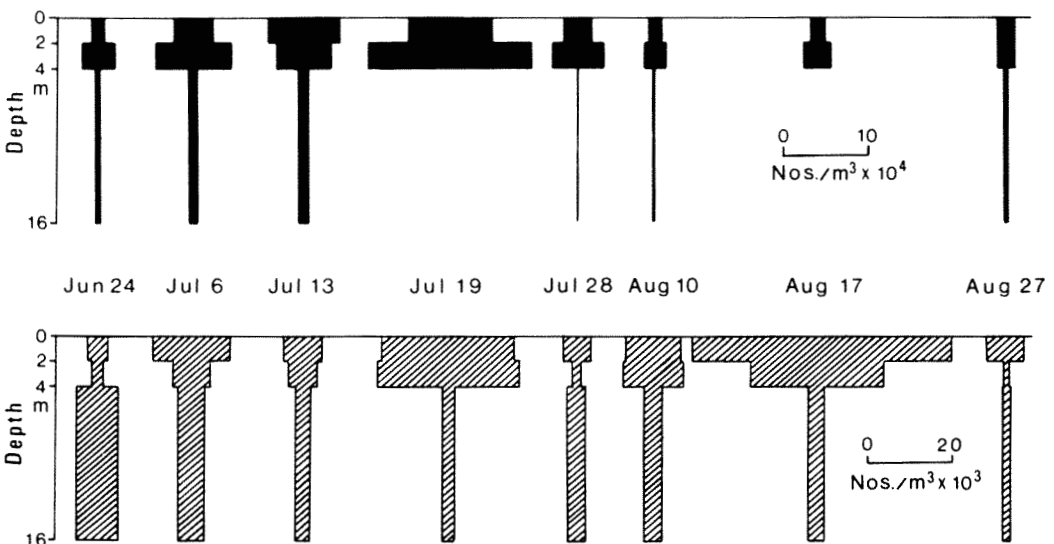


Figure 5. Vertical distributions of crustaceans (cross-hatched) and rotifers (black) on eight occasions during 1977 at a station in Lake Matamek 40 m from the outlet.

irrelevant, regardless of the kind of predator consuming it. For example, assuming a 10% growth efficiency, 6 kg of zooplankton, if consumed directly, is only sufficient to produce a 0.6 kg fish! With aquatic insects as an intermediate link this hypothetical fish would now weigh only 0.06 kg. It therefore must be concluded that drifting zooplankton from Lake Matamek is probably of minor significance in the food web of the Matamek River.

Acknowledgements

This work was supported by a grant from the Woods Hole Oceanographic Institution and the National Research Council of Canada. Mary Heppner and Fred Whoriskey did most of the work in the field while Linda Devey analyzed a majority of the samples. Dr. Marcel Frenette of CENTREAU Université Laval, kindly supplied the data on river discharge. Dr. David Barton read the manuscript and offered valuable comments.

References

- BOTTRELL, H. H., A. DUNCAN, Z. M. GLIWICZ, E. GRYGIEREK, E. HERZIG, A. HILLBRICHT-ILKOWSKA, A. KURASAWA, H. LARSSON & T. WEGLENSKA, 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. — *Norw. J. Zool.*, 24: 419-456.
- CLIFFORD, H. F., 1972a. A year's study of the drifting organisms in a brownwater stream of Alberta, Canada. — *Can. J. Zool.*, 50: 975-983.
- CLIFFORD, H. F., 1972b. Drift of invertebrates in an intermittent stream draining marshy terrain of west-central Alberta. — *Can. J. Zool.*, 50: 985-991.
- COOLEY, J. M., 1973. The life history, population dynamics and production of *Leptodiptomus minutus* Lillj. (Copepoda: Calanoida) in Bluff Lake, Nova Scotia. — Ph.D. Thesis, Dalhousie Univ., Halifax, N.S., 121 p.
- CUMMINS, K. W., 1973. Trophic relations of aquatic insects. — *A. Rev. Ent.*, 18: 183-206.
- CUSHING, C. E., 1964. Plankton and water chemistry in the Montreal River lake-stream system, Saskatchewan. — *Ecology*, 45: 306-313.
- ENACEANU, V., 1964. Das Donauplankton auf rumanischen Gebiet. — *Arch. Hydrobiol.*, Suppl. no. 27, p. 442-456.
- GIBSON, R. J. & D. GALBRAITH, 1975. The relationship between invertebrate drift and salmonid populations in the Matamek River, Quebec. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 104: 529-535.
- HYNES, H. B. N., 1972. The ecology of running waters. — Univ. Toronto Press, 555 p.
- JANUS, L. L., 1976. Phytoplankton and primary production of the Matamek Watershed, Quebec. — M.Sc. thesis, Univ. Waterloo, Waterloo, Ontario, 147 p.
- POWER, G., G. F. POPE & B. W. COAD, 1973. Postglacial colonization of the Matamek River, Quebec, by fishes. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30: 1586-1589.
- SCHIEFER, K., 1971. Ecology of Atlantic salmon, with special reference to occurrence and abundance of grilse, in North Shore Gulf of St. Lawrence Rivers. — Ph.D. thesis, Univ. Waterloo, Waterloo, Ontario, 129 p.
- STOCKER, Z. S. J., 1972. The ecology of the streams at Char Lake, Resolute Bay, N. W. Territories. — M.Sc. thesis, Univ. Waterloo, Waterloo, Ontario, 122 p.

AGE, GROWTH, AND FOOD HABITS OF THE PUMPKINSEED SUNFISH, *LEPOMIS GIBBOSUS* (LINNAEUS), IN LAC VERT, QUÉBEC

Marc-André BEAULIEU, S. U. QADRI, and J. M. HANSON

Department of Biology, University of Ottawa, Ottawa, Ontario K1N 6N5

Résumé

Le crapet-soleil, *Lepomis gibbosus* (Linnaeus), représente l'espèce dominante de la zone littorale du lac Vert, Québec. La relation longueur-poids pour la population du Lac Vert est:

$$\log WT = 3,195 \log FL - 5,008$$

Le coefficient de condition de Fulton est de 2,35 (FL) pour les classes d'âge 0 - à 7 -. Les longueurs à la fourche furent rétrocalculées et la longueur maximale (L_{∞}) déterminée par la courbe de Walford est de 179,4 mm. Le rapport des sexes est de 3 mâles pour 2 femelles. La maturité sexuelle est atteinte à l'âge 3 -. Le taux de mortalité annuelle est de 81% entre les âges 4 - et 7 -. La diète est surtout constituée de diptères, de cladocères, d'ostracodes et de décapodes.

Abstract

The pumpkinseed, *Lepomis gibbosus* (Linnaeus), was the dominant fish species of the littoral zone of Lac Vert, Québec. The length-weight relationship was:

$$\log WT = 3.195 \log FL - 5.008$$

Fulton's coefficient of condition averaged 2.35 (FL) for ages 0+ to 7+. Back calculations of fork length were determined and the ultimate length (L_{∞}) for Lac Vert pumpkinseed was derived from the Walford graph as 179.4 mm. There were 3 males caught for every 2 females. Maturity was attained at age 3+. The annual mortality rate was 81% between ages 4+ and 7+. The diet consisted mainly of dipterans, cladocerans, ostracods, and decapods.

Introduction

Although the pumpkinseed sunfish, *Lepomis gibbosus* (Linnaeus) is a very common sunfish in Canada (Scott & Crossman, 1973), there is very little information on the growth and food of this species in the northern part of its range. Investigations by Reid (1930) and Keast (1978) are among the few studies that relate to the growth and feeding of pumpkinseed in Canada.

This study provides information on the growth and food habits of this warm water fish in an oligotrophic lake at the extremity of its northern distribution.

Materials and methods

Lac Vert (45°54'10"N, 75°36'03"W) is a small oligotrophic lake in western Québec. It is 24.3 hectares in area, 8.7 of which are 6 m

or less in depth (Veilleux, 1963). The average depth is 12 m and the maximum is 30 m. The lake lacks an inlet or an outlet. The littoral zone extends to a depth of 6 m and has a gravel bottom which is covered by organic debris. Physical and chemical parameters of the water were taken in late August, 1977, with a Model AL-36-WR Hach Kit (Hach Chemical Co., Ames, Iowa.). Total hardness was 30 mg/l; total alkalinity was 50 mg/l; oxygen was 9 mg/l at the surface and 6 mg/l at 13 m; carbon dioxide was 5 mg/l at the surface and 15 mg/l at 24 m; and the pH was 7.2.

Emergent vegetation consisted of *Sparganium chlorocarpum* and *Juncus nodosus*; *Eriocaulon* sp. and *Nymphaea* sp. occurred to 0.5 m; and *Potamogeton crispus* and *P. natans* grew to 6 m. *Chara* spp. were growing at the bases of the *Potamogeton*. Vegetation was generally sparse except for large

patches of *Potamogeton* in several shallow inlets.

Lac Vert was poisoned with 1% rotenone on November 22, 1970. Walleye (*Stizostedion vitreum*), smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*), pumpkinseed, yellow perch (*Perca flavescens*), white sucker (*Catostomus commersoni*), and several species of minnows were completely eliminated. Brook char (*Salvelinus fontinalis*) were stocked (Gagnon & Lessard, 1971, unpubl. report). Since that time the following species have been accidentally or intentionally introduced by fishermen: smallmouth bass, pumpkinseed, northern redbelly dace (*Chrosomus eos*), fathead minnow (*Pimephales promelas*), golden shiner (*Notemigonus crysoleucas*), and creek chub (*Semotilus atromaculatus*). A single yellow perch was caught during the present study.

A total of 911 pumpkinseeds were captured from August 6 to October 8, 1977, using a white seine, 31 × 1.8 m, with a 6 mm mesh. Of these, 344 young-of-the-year, 46 immature fish, and 261 adult fish were sampled for lengths (mm), weights (g), stomach contents, and scales.

Scales were taken from below the lateral line near the tip of the left pectoral fin. The anterior radius (SR) from the focus of the scale to each annulus and the scale edge was measured to provide information on age, the body-scale relationship, and back calculation of fork lengths. The body-scale relationship, was found to be directly proportional and is expressed as:

$$FL = 40.38 SR + 19.38 \\ (n = 296; r = 0.9993)$$

From this, back calculations of fork lengths and the relative rates of growth were calculated according to Ricker (1968a).

The relationships between fork length (FL) to standard length (SL) and total length (TL), in mm, were calculated to be:

$$SL = 0.84 FL - 0.154 \text{ (based on 79 fish)} \\ TL = 1.04 FL + 0.290 \text{ (based on 77 fish)}$$

Fork lengths (in mm) are used throughout the study.

The Walford graph was determined by the method of Casselman (1967). The Von Bertalanffy growth equation was determined in the manner described in Everhart *et al.* (1975). Fulton's coefficient of condition was determined after Hile (1931) for both fork length and standard length.

The annual mortality rate was determined for ages 4+ to 7+ as described by Ricker (1968b).

Linear regression by the least squares method, *t*-test, and analysis of covariance were used for analyzing the data.

The stomach contents of 307 pumpkinseed from age 1+ to 7+ were examined and the contents were separated to the order level by the use of keys by Pennak (1953), Needham and Needham (1962), Borror and White (1970), and Wiggins (1977) for invertebrates, and Scott and Crossman (1973) for fish species. The results are presented as frequency of occurrence and percent numbers (after Ricker, 1968a).

Results

The average fork length at each age does not differ significantly ($P > 0.05$) between the sexes except at age 4+ where males are larger. The data for both sexes of pumpkinseed were combined and are presented with values from other authors in Table I. The largest increment in length occurred between ages 2+ and 3+ but the greatest relative rate of growth was between the 1+ and 2+ age groups (Table II).

The Walford line was calculated using the mean back calculated fork lengths from Table II and is expressed as:

$$L_{t+1} = 0.8696 L_t + 23.89 \\ (n = 296; r = 0.9983)$$

where L_t is length at age t , L_{t+1} is length at age " $t+1$ " and " t " is the age in years.

The maximum theoretical fork length for Lac Vert pumpkinseed was found to be 179.4 mm which is much greater than the largest fish captured (a 145 mm female, age 7+). The value L_{∞} was used to calculate the Von Bertalanffy growth equation as:

$$L_t = 179.4 (1 - e^{-0.1415 (t + 0.3669)})$$

This equation gave fork length estimates equal to those back calculated from the scales.

The age-weight relationship is presented in Table III. Males are significantly larger at age 4+ ($P < 0.05$). The greatest increment of growth in weight occurred between the 5+ and 6+ age classes.

The length-weight relationship was calculated for immature fish and both sexes

TABLE I

Comparison of average length at each age class of pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, from different sources (converted to fork length, mm)

Age	Lac Vert, Québec	Upper Ottawa River, Ontario	Lower Ottawa River, Ontario	Welsh Lake, New Brunswick	Gibson Lake, New Brunswick	Various lakes in Ontario	Various lakes in Michigan	Various combined sources
	Present study	Boyle (1977)	Boyle (1977)	Reid (1930)	Reid (1930)	Scott and Crossman (1973)	Beckman (1949)	Carlander (1977)
0	24.6	23.6	24.6	30.9	—	—	48.8	—
1	47.6	81.5	69.0	88.4	38.9	89.0	70.2	67.3
2	56.4	90.6	75.9	105.6	65.9	107-152	97.6	99.0
3	77.5	109.7	109.7	124.8	92.8	107-183	119.0	119.2
4	92.3	137.6	143.3	132.1	—	122-208	138.0	131.7
5	102.8	152.7	157.3	137.4	121.4	160-203	149.9	153.8
6	129.2	161.7	167.8	142.7	—	178-221	177.3	172.1
7	141.0	169.3	185.6	148.4	—	190-229	189.2	183.7
8	—	176.1	191.6	—	—	221-231	—	—
9	—	—	195.2	—	—	216-241	—	—

TABLE II

Back calculations of fork lengths (mm) for each age class of pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, in Lac Vert

Age and year class	N	Measured fork lengths	Fork length calculated at the formation of each annulus						
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	
0+ (1977)	40	24.0							
1+ (1976)	32	47.6	31.4						
2+ (1975)	14	56.4	32.4	47.2					
3+ (1974)	32	77.5	36.4	54.3	69.5				
4+ (1973)	190	92.3	29.0	48.7	65.8	83.0			
5+ (1972)	28	102.8	30.4	51.0	68.3	84.1	95.0		
6+ (1971)	9	129.2	31.6	51.2	68.7	90.3	106.1	123.1	
Mean of means			31.9	50.5	68.1	85.8	100.5	123.1	
Increment				18.6	17.6	17.7	14.7	22.6	
Relative rate of increase (%)				58.3	34.8	26.0	17.1	22.5	

TABLE III

Mean weights, standard error, and growth increments for each age class of the pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, of Lac Vert in 1977

Age	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+
No. of fish	40	32	14	32	190	28	9	2
Mean weight (g)	0.26	2.25	4.22	11.07	19.10	26.70	54.93	75.25
Standard error	—	0.137	0.663	0.323	0.430	1.549	3.128	4.050
Increment	1.99	1.97	6.85	8.03	7.60	28.23	20.32	

TABLE IV

Comparison of length-weight relationships of pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, from different localities

Location	Relationship ¹	Source
Lac Vert, Québec	log WT = 3.195 log FL - 5.008, r = 0.9999	present study calculated from Boyle (1977)
Upper Ottawa River, Ont.	log WT = 3.156 log FL - 4.867, r = 0.9998	
Lower Ottawa River, Ont.	log WT = 2.974 log FL - 4.487, r = 0.9997	"
Clear Lake, Iowa	log WT = 3.186 log SL - 4.740	DiCostanzo (1957)
Michigan lakes	log WT = 3.199 log SL - 4.789	Beckman (1949)
Alanconnie Lake, Pennsylvania	log WT = 3.262 log TL - 5.213	Cooper <i>et al.</i> (1971)

¹ WT = weight (g)

FL = fork length (mm)

SL = standard length (mm)

TL = total length (mm)

separately, but was later combined as they did not differ significantly ($P > 0.05$). Table IV presents the length-weight relationship for the pumpkinseed of Lac Vert and other studies. The values for the Ottawa River (Boyle, 1977, unpubl. data) were particularly close to that of the present study.

The average coefficient of condition for ages 0 - to 7 - was 2.35 (FL) and 3.96 (SL).

Catch curves were drawn and the annual mortality rate was 81% for ages 4 - to 7 -.

Males and females matured at age 3 -. There were three males caught for every two females.

Table V shows that dipterans are an important item of diet to all but the 6 - and 7 - age fish. Cladocerans were important to the 1 - to 4 - age classes. Gastropods were only found in the stomachs of three 6 + age fish. Decapods increased in importance from 7.5% occurrence in 4 - age fish to 100% occurrence in the two 7 - age fish captured. Hymenoptera, especially winged ants, formed the bulk of the food eaten by the 3 - to 5 - age classes on August 28, 1977.

Discussion

A comparison of the average fork length at each age of pumpkinseed (Table I) shows that the fish from Lac Vert are usually smaller than those of any other study. This is possibly due to Lac Vert being an oligotrophic lake at the northern limit of the pumpkinseed's range.

Boyle (1977) found that female pumpkinseed were larger than males at age 3 - (only) in the lower Ottawa River but the males were larger in the upper Ottawa River. This agrees with the present study where there was a significant difference in length between the sexes at only one age. In both cases it may be a sampling bias.

Boyle also found a ratio of three males to two females in the lower river but found the sex ratio even in the upper Ottawa River. In the Ottawa River study, seining was the main method of catching specimens but a fairly large number of the fish from the upper Ottawa River were caught by gill nets set in deeper water (Boyle, 1977). The initial sample of pumpkinseed from Lac Vert was taken at the end of the spawning season when males guarding the nest are more susceptible to seining as compared to the

females which are in deeper water. In addition, as we observed and reported earlier by Keast (1978), the frequency of capture of adult pumpkinseed was low at the end of September while that of young was high, and any difference caused by the females moving to deeper water first would have added to the sampling bias.

Table IV illustrates the difficulty in comparing length-weight relationships because various kinds of length were used. The comparison to the Ottawa River populations was only possible because of the availability of the raw data (Boyle, 1977).

The average coefficient of condition (SL) of 3.96 for Lac Vert pumpkinseed is much lower than the value of 4.66 found by Boyle (1977) but the former is considered average by standards proposed for Minnesota waters by Carlander (1977).

The estimate of annual mortality rates of 81% for Lac Vert pumpkinseed compared favourably with the estimate of 88% by Ricker (1955) for comparable age fish in Spear Lake, Indiana.

The pumpkinseed of Lac Vert matured at age 3 +; this agrees with Boyle (1977) for Ottawa River fish. Pumpkinseed are reported to mature at age 1 - in Ohio (Carlander, 1977) and Iowa (Harlan and Speaker, 1956). In New York State the faster growing males may mature at age 1 + with others maturing at age 2 + and 3 + (E. C. Raney, 1965, unpublished data quoted by Carlander, 1977). Thus Lac Vert pumpkinseed mature later than more southern populations.

Our findings on the food habits of Lac Vert pumpkinseed agree broadly with studies by Reid (1930), Sadzikowski and Wallace (1976), Keast (1978), and others. The relatively low consumption of gastropods cannot be explained without a detailed study of prey availability.

Acknowledgements

We are grateful to Mr. Charles Buckley for his technical assistance in the field and to Ms. Jeurel Singleton-Smith for her help in the identification of food items. We are also indebted to Mr. Richard Chatelain, and Mr. Gilles Thellen of the *Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune*, for their cooperation. Mr. Marc Dubreuil of the same department was especially helpful in the statistical treatment of the data. We also wish to thank Miss Roberte Boyle for the use of her

TABLE V

Food habits of pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, of Lac Vert expressed as percent frequency of occurrence and as percent representation by number

Age	% occurrence							% numbers						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
<i>No. fish</i>	32	14	32	190	28	9	2	32	14	32	190	28	9	2
Gasteropoda		7.14	3.13	4.30	10.71	11.11			1.18	0.38	0.45	3.03	78.13	
Pelecypoda				0.54							0.03			
Oligochaeta				1.61	3.57						0.14	0.51		
Cladocera	12.50	21.43	53.13	36.02	17.86			8.80	7.06	15.34	14.75	5.56		
Copepoda					3.57							0.51		
Ostracoda	25.00	42.86	21.88	10.22	14.28			44.57	15.88	2.08	1.36	3.03		
Amphipoda	3.13	28.57	15.63	20.97	39.29			0.29	6.47	1.14	4.03	28.79		
Decapoda				7.53	17.86	44.44	100.00				0.40	3.03	18.75	100.00
Ephemeroptera			3.13	1.08					0.09	0.06				
Odonata				1.61	7.14						0.11	1.52		
Trichoptera	15.63	21.43	37.50	22.58	14.28	11.11		3.52	7.65	6.25	4.91	2.53	3.13	
Diptera	43.75	50.00	75.00	56.99	39.29			41.94	61.76	65.63	47.23	19.19		
Hymenoptera			12.50	6.45	7.14					8.52	23.94	23.74		
Coleoptera			3.13	2.69	7.14					0.09	0.14	1.01		
Hydrocarina	6.25		3.13	7.53	10.71			0.59		0.47	1.19	4.55		
Cyprinidae				1.08	3.57						0.06	0.51		
Centrarchidae	3.13			5.91	7.14			0.59			1.19	2.53		

unpublished data on the pumpkinseed of the Ottawa River.

References

- BECKMAN, W. C., 1949. The rate of growth and sex ratio for seven Michigan fishes. — *Trans. Am. Fish. Soc.*, 76: 63-81.
- BORROR, D. J. & R. E. WHITE, 1970. A field guide to the insects of North America, north of Mexico. — The Peterson field guide series. Houghton and Mifflin Co., Boston, 404 p.
- BOYLE, R., 1977. Age, growth, development, food, fecundity, and maturation of the pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, in the Ottawa River near Ottawa and Hull, Canada. — B.Sc. Honours Thesis (unpubl.), Univ. Ottawa, Ottawa, 105 p.
- CARLANDER, K. D., 1977. Handbook of freshwater fishery biology. — Iowa St. Univ. Press, Ames, Iowa, Volume II. 431 p.
- CASSELMAN, J. M., 1967. Age and growth of northern pike, *Esox lucius* (Linnaeus), of the Upper St. Lawrence River. — M.Sc. Thesis, Univ. Guelph, Guelph, 219 p.
- COOPER, E. L., C. C. WAGNER & C. E. KRANTZ, 1971. Bluegills dominate production in a mixed population of fishes. — *Ecology*, 52: 280-290.
- DICOSTANZO, C. J., 1957. Growth of bluegill, *Lepomis macrochirus*, and pumpkinseed, *L. gibbosus*, of Clear Lake, Iowa. — *Iowa St. J. Sci.*, 32: 19-34.
- EVERHART, W. H., A. W. EIPPER & W. D. YOUNG, 1975. Principles of fishery science. — Comstock, Cornell Univ. Press, Ithaca, New York, 288 p.
- GAGNON, P. & P. LESSARD, 1971. Vérification de l'empoisonnement à la roténone du 22 novembre, 1970. — Rapport non publié. Service de l'aménagement de la faune. Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Québec, 5 p.
- HARLAN, J. R. & E. B. SPEAKER, 1956. Iowa fish and fishing. — 3rd ed., State of Iowa, 377 p.
- HILE, R., 1931. The rate of growth of fishes of Indiana. Investigations of Indiana lakes, no. 2. — Indiana Dep. Conserv. Publs, 107: 7-55.
- KEAST, A., 1978. Feeding interrelations between age groups of pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*) and comparison with bluegill (*L. macrochirus*). — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35: 12-27.
- NEEDHAM, J. G. & P. R. NEEDHAM, 1962. A guide to the study of freshwater biology. — 5th ed., Holden-Day Inc., San Francisco, 108 p.
- PENNAK, R. W., 1953. Fresh-water invertebrates of the United States. — The Ronald Press Co., New York, 769 p.
- REID, H., 1930. A study of *Eupomotis gibbosus* (L.) as occurring in the Chamock Lakes, New Brunswick. — *Contr. Can. Biol. Fish.*, 5: 457-466.
- RICKER, W. E., 1955. Fish and fishing in Spear Lake Indiana. — *Invest. Indiana Lakes Streams*, 4: 117-162.
- RICKER, W. E., 1968a. Methods of assessment of fish production in freshwater. — IBP Handbook 3, Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh, 313 p.
- RICKER, W. E., 1968b. Handbook of computations for biological statistics of fish populations. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, no. 119, 300 p.
- SADZIKOWSKI, M. R. & D. C. WALLACE, 1976. A comparison of the food habits of size classes of three sunfishes (*Lepomis macrochirus* Rafinesque, *L. gibbosus* (Linnaeus), and *L. cyanellus* Rafinesque). — *Am. Midl. Nat.*, 95: 220-225.
- SCOTT, W. B. & E. J. CROSSMAN, 1973. Fresh-water fishes of Canada. — *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, no. 184, 966 p.
- VEILLEUX, C., 1963. Rapport d'inspection du Lac Vert. — Rapport non publié. Service de l'aménagement de la faune, Ministère du Tourisme de la Chasse et de la Pêche, Québec, 5 p.
- WIGGINS, G. B., 1977. Larvae of North American caddisfly genera (Trichoptera). — Univ. Toronto Press, Toronto, Ontario, 401 p.

SUMMER FOOD AND MOVEMENTS OF THE ATLANTIC TOMCOD *MICROGADUS TOMCOD* (WALBAUM) IN A SMALL TIDAL CREEK

Y. LAMBERT and G. J. FITZGERALD

Département de biologie, Université Laval, Québec, G1K 7P4

Résumé

Un échantillonnage journalier pendant la période estivale de 1978 a permis de constater la présence du poulamon (*Microgadus tomcod*) dans la rivière des Vases de la fin de mai à la mi-juillet. Les poissons capturés furent groupés en quatre classes de longueur; les classes I (85-120 mm) et II (121-165 mm) comprennent la grande majorité des poissons. Les contenus stomacaux de ces deux classes montrent l'importance qu'occupent les amphipodes et les larves de chironomides dans l'alimentation du poulamon, quoique les amphipodes soient plus importants pour les poissons de classe II que pour ceux de classe I. Les polychètes et les larves de crustacés sont plus importants dans l'alimentation des poissons de classe III.

Abstract

Daily sampling of the fish community of a tidal creek, Rivière des Vases near Isle-Verte, Québec, indicated the presence of *Microgadus tomcod* from the end of May until the middle of July in 1978. Captured fish were grouped into four size classes: class I (85-120 mm) and class II (121-165 mm) made up the majority. Stomach content analysis of these two size classes showed that amphipod and chironomid larvae were the most important food items with amphipods being more important for class II than for class I fish. Polychaetes and crustacean larvae were more common in the diet of class III fish.

Introduction

Despite its sport fishery importance few food habits studies of *Microgadus tomcod* exist, a notable exception being Grabe (1978). Incidental to an ecological study of sticklebacks (in preparation), we were able to examine tomcod diet as a function of fish and prey size, which are essential relationships in determining the ecological requirements of a species.

Study area

The study was done along a 2.5 km section of Rivière des Vases which empties into the St. Lawrence Estuary (Fig. 1). At high tide the channel ranges in width from 30 m at the mouth to 2.5 m in the upper portion, and at low tide from 10 m at the mouth while remaining essentially unchanged upstream. Mid-channel depths range from 0.5 to 2.5 m depending on the tidal stage and distance from the creek mouth, where mean tidal amplitude is 2 m. Salinities over a tidal cycle usually vary from 0‰ to 20‰ at the mouth.

At 1.5 km upstream, the water is usually fresh. Water temperatures are similar among stations averaging 15.5°C (range: 5-26°C) during May and June and 19.5°C (range 13.0-29.5°C) during July and August. The creek is frozen over from November until late April. Dissolved oxygen values range from 6.8 to 17.0 ppm; pH is usually 7.0 and current speed is less than 0.3 ms⁻¹ with little variation among stations. The creek traverses a *Spartina alterniflora* marsh (described by Reed and Moisan, 1971). The creek bed is largely sand, and its banks largely mud; in the upper reaches the bed is a sand-mud mixture. The only cover is provided by several large boulders about 1 km from the mouth. Further details of water physical and chemical characteristics of the St. Lawrence Estuary near Rivière des Vases are given by Lavoie (1971), and Bourget and Lacroix (1973).

Methods

Fish were collected in non-baited minnow traps (mesh size: 7 mm²) from 3 stations

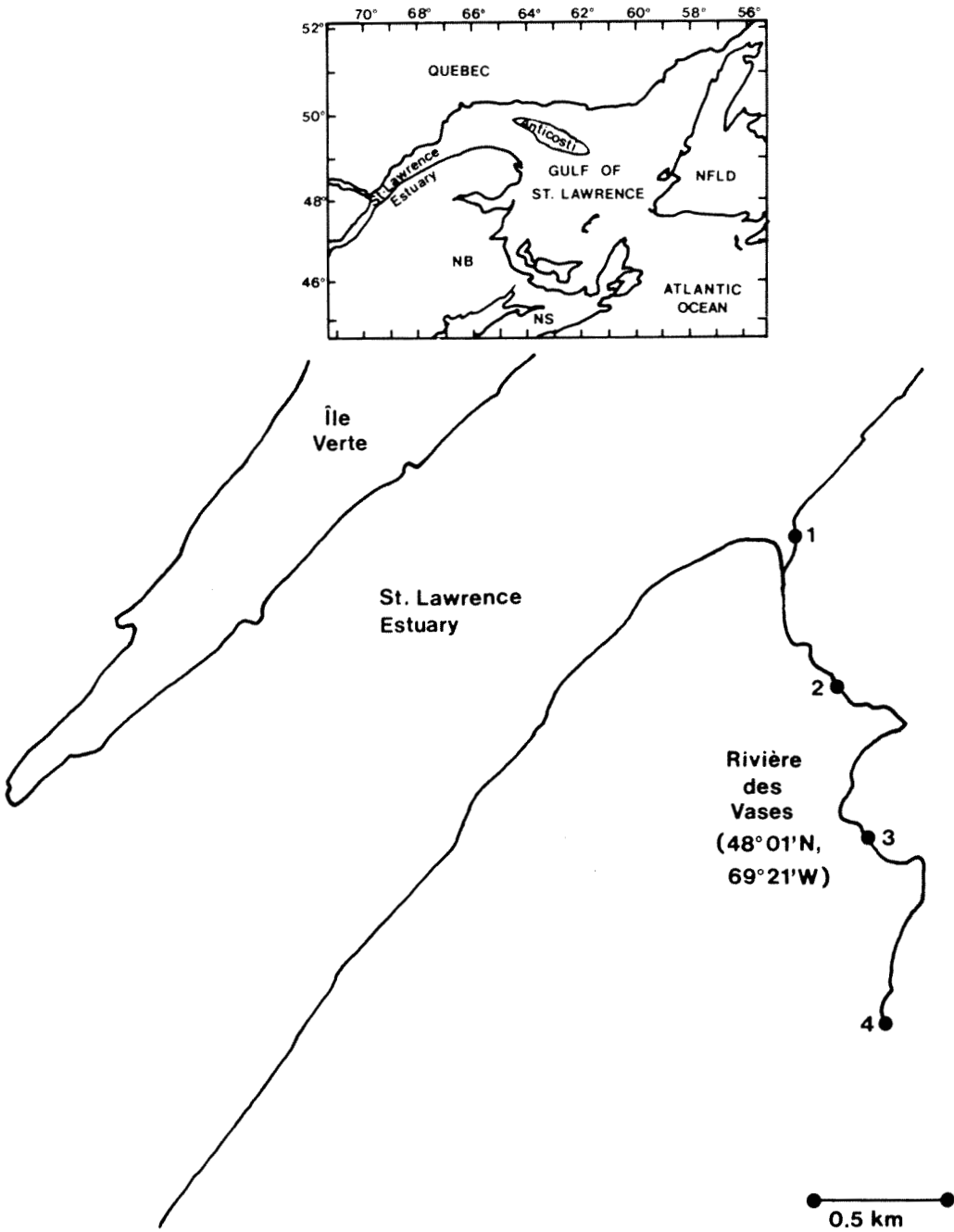


Figure 1. Study region and location of stations along Rivière des Vases.

approximately 0.5 km apart (Fig. 1) from May 15 to August 1, 1978. A fourth station was sampled but no tomcod was trapped. Specimens were also obtained from weekly seining. Immediately after capture fish were preserved in 10 per cent formalin for later laboratory examination. Total length and wet weight were recorded. The alimentary tract of each specimen was removed and individual stomach contents analyzed. Food items were identified to the lowest taxonomic level feasible, counted, and analyzed using the occurrence and composition methods (Hynes, 1950). Because amphipods, an important prey, varied considerably in size their diameter and length were measured.

Fish were divided into four size classes: class O: <85 mm; class I: 85-120 mm; class II: 121-165 mm; and class III: > 165 mm. The choice of the size classes corresponds to the age-length relationships of Roy *et al.* (1975) who aged St. Lawrence Estuary tomcod from sites close to Isle-

Verte using otoliths. Because length classes O and III were poorly represented in our samples (2 and 6 individuals respectively) statistical analysis are only based on classes I and II fish.

Results

Occurrence of fish

Microgadus tomcod and four species of sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*, *G. wheatlandi*, *Pungitius pungitius*, *Apeltes quadricus*) were the only fish caught during the sampling period. No tomcod were trapped prior to May 29 and only 6 were trapped after July 15 (Fig. 2). There were no differences in the relative distribution of class I and II fish in the creek.

Food habits

Of 154 fish captured, 127 served in the analysis the others being empty or digestion being too advanced to permit identification of the organisms.

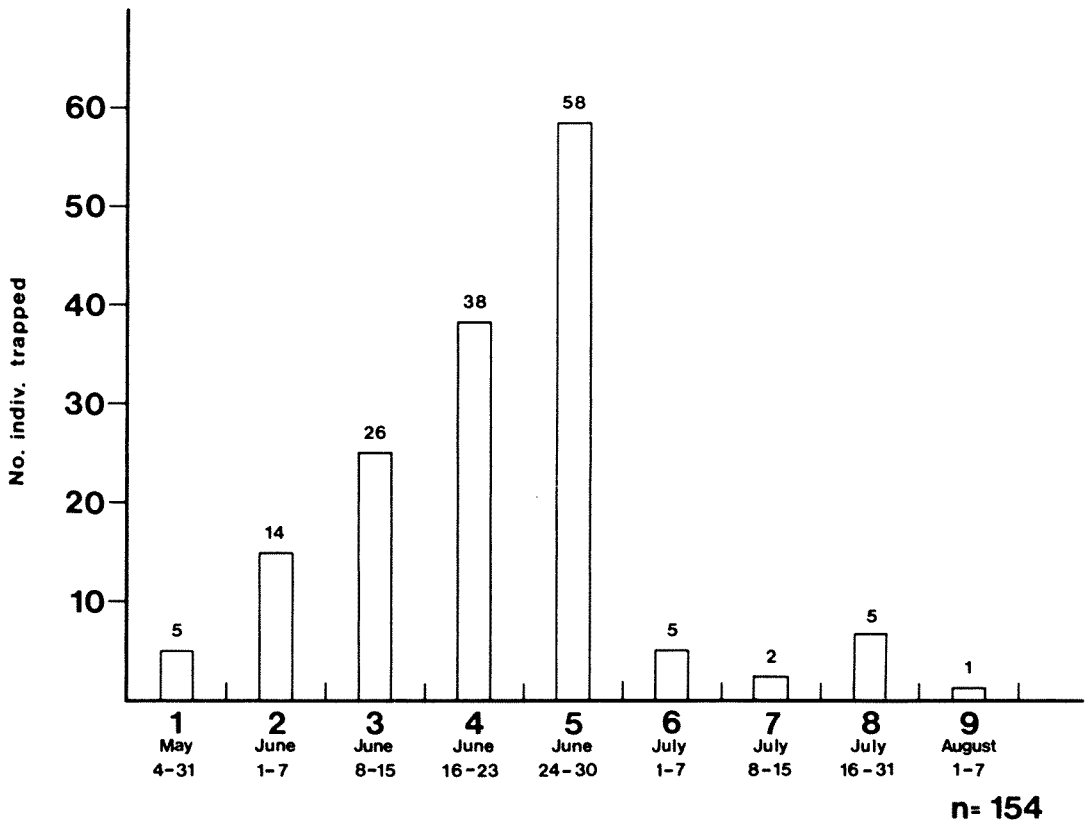


Figure 2. Numbers of individuals of *Microgadus tomcod* trapped in Rivière des Vases during 1978.

The per cent occurrence data (Table I) indicate that amphipods and chironomid larvae occur most frequently, irrespective of fish size. Amphipods were significantly more important than chironomids for class I tomcod ($\chi^2 = 4.52$, $df = 1$, $P < 0.05$). No other differences in per cent occurrence were statistically significant.

The per cent composition data (Table II) show that amphipods and chironomids represent about 77% of the total number of organisms contained in tomcod stomachs of all classes.

Amphipods and chironomids made up similar proportions of stomach contents of class I fish but amphipods were relatively more important than chironomids for class II fish ($\chi^2 = 61.23$, $df = 1$, $P < 0.001$).

To determine if tomcod eat larger prey the lengths of representative prey were quanti-

fied. Class II fish ate larger amphipods (mean length = 4.8 mm) than did class I fish (mean length = 4.1 mm) (Student t test, $P < 0.5$). Other organisms varied little in size and were not measured. Although sample sizes of class 0 fish and class III fish did not permit statistical comparisons with the other classes, the two class 0 fish contained small amphipods, chironomid larvae, and copepods, while the diet of class III tomcod differed little from that of class II fish except for a larger per cent occurrence of polychaetes and a larger (65%) composition of crustacean larvae.

Discussion

By comparing our size classes to those of Roy *et al.* (1975) it is evident that only a certain per cent of the population enters the creek from the estuary, and that this propor-

TABLE I

List of major food items, and their per cent occurrence in 127 atlantic tomcod stomachs

	Class I <i>n</i> = 80	Class II <i>n</i> = 38	Class III <i>n</i> = 7
Amphipods (<i>Gammarus</i>)	92.5	79.0	71.4
Insects			
Chironomid larvae	38.8	44.7	28.6
Insects			
Coleoptera, Ephemeroptera, Neuroptera, Tricoptera, Diptera	21.2	15.8	14.3
Unidentified fish eggs	23.8	15.8	14.3
Stickleback larvae (<i>Gasterosteus</i> spp.)	2.5	2.6	0.0
Polychaetes	13.8	23.7	57.1
Decapods (<i>Crangon septemspinosa</i>)	1.3	5.3	14.3
Copepods	7.5	2.6	0.0
Miscellaneous (Oligochaetes, Gastropods, Decapod larvae)	6.3	10.5	42.9

TABLE II

Per cent composition by numbers of different prey found in 127 Atlantic tomcod from Rivière des Vases

	Class I	Class II	Class III
Amphipods	37.4	54.8	12.3
Chironomid larvae	40.7	21.4	3.4
Crustacean larvae	0.0	0.0	65.9
Polychaetes	2.6	2.4	8.7
Other insects	2.6	6.9	2.9
Unidentified fish eggs	14.7	12.8	4.6
Miscellaneous (Oligochaetes, Gastropods, Decapod larvae)	2.0	1.7	2.2

tion stays in the creek from about mid-May to the end of July. Water temperatures may be responsible for this limited seasonal use of the river as tomcod prefer water temperatures of 15.5°C or less (Vladykov, 1955) which are often exceeded in the river in July and August. The absence of tomcod shorter than 85 mm or greater than 165 mm may be due to food preferences. For example Grabe (1978) showed that small tomcod (40-90 mm) eat mainly copepods suggesting that fish of this size prefer zooplankton. Our two specimens of this size contained mostly copepods. We found the creek to be relatively poor in zooplankton except at high tides at station 1. Large tomcods (> 165 mm) may prefer the estuary to the river because larger prey such as amphipods would be more economical. It is reasonable to suppose that larger amphipods are more abundant in the estuary because of better food supplies (E. Bourget, pers. comm.).

Tomcod did not move upstream beyond station 3 although they can live in freshwater (Scott & Crossman, 1974). This may be due to insufficient food at the narrower station 4, although this was not examined. Our results confirm those of other authors that tomcod are opportunistic feeders, and we suggest that the fish are exploiting the creek benthos until water temperatures force them to return to the estuary. The stomach content analysis revealed two noteworthy results. First, contrary to Pigeon and Vallée (1937) who found the decapod *Crangon septemspinosa* in about 50% of their estuarine specimens, this species appeared in only 4% of our fish. Unfortunately these authors did not list the size of their specimens, and we can only speculate as to whether this discrepancy is due to size differences of fish examined or to local and seasonal differences in prey abundances. Also contrary to the findings of Bigelow and Schroeder (1953), Vladykov (1953), and Scott and Crossman (1974), tomcod ate few young and no adult sticklebacks despite their abundance in the creek.

Acknowledgements

We thank Edwin Bourget and Jeremy McNeil for a critical reading of the manuscript and John Worgan for assistance in the field. Two anonymous referees provided useful comments. The research was supported by N.S.E.R.C. grant no. A R-6179 to G. Fitzgerald.

References

- BIGELOW, H. B. & W. C. SCHROEDER, 1953. Fishes of the Gulf of Maine. — U.S. Fish Wildl. Serv. Fish. Bull., no. 74, 577 p.
- BOURGET, E. & G. LACROIX, 1973. Aspects saisonniers de la fixation de l'épifaune benthique de l'étage infralittoral de l'estuaire du Saint-Laurent. — J. Fish. Res. Bd Can., 30: 867-880.
- GRABE, S. A., 1978. Food and feeding habits of juvenile Atlantic tomcod from Harvesting Bay, Hudson River. — Fishery Bull., 76: 89-94.
- HYNES, H. B. N., 1950. The food of freshwater sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius* with a review of methods used in studies of the food of fishes. — J. Anim. Ecol., 19: 36-58.
- LAVOIE, R., 1970. Contribution à la biologie et à l'écologie de *Macoma balthica* L. de l'Estuaire du Saint-Laurent. — Thèse de doctorat, Université Laval, 250 p.
- PIGEON, J. & A. VALLÉE, 1937. Contribution à l'étude du contenu du tube digestif de trois espèces de poissons du Saint-Laurent. — Naturaliste can., 64: 33-40.
- REED, A. & G. MOISAN, 1971. The *Spartina* tidal marshes of the St-Lawrence Estuary and their importance to aquatic birds. — Naturaliste can., 98: 905-922.
- ROY, J.-M., G. BEAULIEU & G. LABRECQUE, 1975. Observations sur le poulamon *Microgadus tomcod* (Walbaum) de l'Estuaire du Saint-Laurent et de la Baie des Chaleurs, Québec. — Cah. Inf. Dir. Pêches marit. Québec, n° 70, 56 p.
- SCOTT, W. E. & E. J. CROSSMANN, 1974. Freshwater fishes of Canada. — Bull. Fish. Res. Bd Can., no. 184, 966 p.
- VLADYKOV, V. D., 1955. Le poulamon, *Microgadus tomcod*. — Poissons du Québec n° 4, Département des Pêcheries, Québec.

COMMUNICATIONS BRÈVES

DIROFILARIA SCAPICEPS (LEIDY, 1886) FROM THE SNOWSHOE HARE, LEPUS AMERICANUS STRUTHOPUS BANGS, IN NEW BRUNSWICK, CANADA

Patrick Marc MALTAIS and Emilia Annette OUELLETTE

Département de biologie, Université de Moncton, Moncton,
Nouveau-Brunswick, E1A 3E9

Résumé

Dirofilaria scapiceps (Leidy, 1886), nématode parasite des lagomorphes, est mentionné pour la première fois au Nouveau-Brunswick. Suite à l'examen de 73 lièvres d'Amérique, *Lepus americanus struthopus* Bangs, il s'est avéré que 11% des lièvres étaient parasités.

Abstract

Dirofilaria scapiceps (Leidy, 1886), a nematode parasite of lagomorphs, is reported for the first time from New Brunswick. Eleven percent of 73 snowshoe hares, *Lepus americanus struthopus* Bangs, were infected.

Introduction

Dirofilaria scapiceps (Leidy, 1886) is an onchocercid nematode parasitic in rabbits and hares. The typical sites of localization of the adult *D. scapiceps* are the intermuscular fascia of the hind legs and the subcutaneous fascia of the shoulder and lumbar regions. The known definitive hosts of this nematode are the snowshoe hare, *Lepus americanus* Erxleben; the white-tailed jackrabbit, *L. townsendii* Bachman; the marsh rabbit *Sylvilagus palustris* (Bachman); and the eastern cottontail, *S. floridanus* (Allen).

Manweiler (1938) was the first to observe this parasitic nematode in the snowshoe hare, *Lepus americanus phaeonotus* in Minnesota. Highby (1938) observed microfilariae in the blood of a snowshoe hare in Minnesota. Highby (1943) demonstrated that these microfilariae could complete their larval development in five species of mosquitoes (*Aedes canadensis*, *A. cinereus*, *A. excrucians*, *A. fitchii* and *A. vexans*).

This parasite was first observed by us but unreported in 1973 in the course of a study of the snowshoe hare, *Lepus americanus struthopus* Bangs, in the Moncton region of

New Brunswick, Canada. A further investigation of the prevalence of this nematode was initiated in the same region in December 1978.

Methods

Wild snowshoe hares were snared during December and January 1978-79. The specimens were frozen and subsequently thawed for examination using routine necropsy procedures. Sex was determined and the animals were aged using the method presented by Hale (1949). Differences in prevalence of parasites between juvenile and adult males and females were tested with Fisher's exact test.

Results and discussion

Of 73 snowshoe hares examined, eight (5 males; 3 females) (11%) were parasitized by the adult *D. scapiceps* (Table I). The number of nematodes per host ranged from one to 22. The parasites were recovered from either the tarsal bursa or the intermuscular fascia of the anterior aspect of the hind legs. No parasite was recovered from the shoulder or lumbar regions.

TABLE I

Number of infected adult and juvenile *L. americanus struthopus* taken in New Brunswick with prevalence and intensity of endoparasite *D. scapiceps*

	No. hosts infected	Prevalence (%)		Intensity		
		of age class	of total population	Average	Range	
Male	Adult (n = 32)	4	13	6	7	4-9
	Juvenile (n = 12)	1	8	1	4	4
Female	Adult (n = 20)	0	0	0	0	0
	Juvenile (n = 9)	3	33	4	9	1-22

We cannot explain, as yet, why the infection of juvenile females *L. americanus* was significantly different ($P < 0.05$) than that of adult females.

In the United States *Dirofilaria scapiceps* has been reported from Connecticut, Massachusetts, Michigan, Minnesota, North Carolina, Ohio, Oklahoma, Pennsylvania, Texas, Virginia, Washington and Wisconsin. In Canada it has been reported from Alberta, British Columbia, Ontario and Québec. This is the first record of *D. scapiceps* from New Brunswick.

Acknowledgements

We are most grateful to Dr. H. J. Smith, Animal Pathology Laboratory, Sackville for his assistance in the identification of specimens and

to Dr. Michel Kabay for his help in the statistical analysis of data.

References

- HALE, J. B., 1949. Aging cottontail rabbits by bone growth. — *J. Wildl. Mgmt.*, 13: 216-225.
- HIGHBY, P. R., 1938. Development of the microfilariae of *Dirofilaria scapiceps* (Leidy, 1886) in mosquitoes of Minnesota. — *J. Parasit. (Suppl.)*, 24: 36.
- HIGHBY, P. R., 1943. Vectors, transmission, development and incidence of *Dirofilaria scapiceps* (Leidy, 1886) (Nematoda) from the snowshoe hare in Minnesota. — *J. Parasit.*, 29: 253-259.
- MANWEILER, J., 1938. Parasites of the snowshoe hare. — *J. Mammal.*, 19: 379.

INULA BRITANNICA L. (COMPOSITAE), UNE NOUVELLE ESPÈCE POUR LE QUÉBEC

Claude TESSIER et Estelle LACOURSIÈRE

*Département de chimie-biologie, Université du Québec
à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières, Québec*

Résumé

Les auteurs ajoutent *Inula britannica* L. à la flore du Québec. L'espèce a été observée sur l'île Dupas, dans l'archipel de Berthier-Sorel. Elle forme une colonie au sein d'un pâturage à *Phleum pratense* L. Les auteurs donnent quelques notes taxinomiques sur cette espèce et ils décrivent son habitat.

Abstract

Inula britannica L. is added by the authors to the flora of Québec. This species was observed on Dupas Island in the Berthier-Sorel archipelago, where it forms a colony in a pasture. Taxonomic notes pertaining to this species are given together with a description of its habitat.

En 1976, nous avons observé une colonie d'*Inula britannica* L. (fig. 1) sur l'île Dupas qui fait partie de l'archipel de Berthier-Sorel, situé dans la partie amont du lac Saint-Pierre (73°10'O. et 46°10'N.).

Signalé par Bergeron (1974), *Inula britannica* L. est donc une addition récente à la flore du Québec. Il nous apparaît très utile non seulement de décrire la plante et de donner quelques indications sur son habitat,



Figure 1. Colonie d'*Inula britannica* L. sur la rive nord de l'île Dupas.

mais également d'ajouter certains commentaires sur sa distribution géographique.

La plante mesure de 60 à 80 cm de hauteur (fig. 2). Au moment de sa floraison, elle est facilement repérable en raison de ses capitules jaunes relativement gros (3-4 cm). De façon plus systématique, on peut la décrire ainsi :

Plante vivace à tige pubescente. Feuilles alternes (long.: 6-7 cm, larg.: 1-2 cm), pubescentes, lancéolées, à base embrassante légèrement cordée, munies de petites dents glanduleuses espacées. Inflorescence en capitules jaunes mesurant 3-4 cm. Bractées involucrales pubescentes, linéaires (long.: 5-10 mm, larg.: 0,5-1 mm), les externes vertes, les internes jaunâtres, portant de petites glandes jaunes sur leur pourtour. Rayons jaunes (long.: 1,5 cm), tridentés, étroits et nombreux. Aigrettes soyeuses, blanchâtres. Akènes pubescents munis de côtes. (D'après des spécimens conservés dans l'herbier de l'Université du Québec à Trois-Rivières).

On ne peut confondre cette espèce avec *Inula helenium* L., cette dernière possédant des feuilles beaucoup plus larges (5-10 cm), des capitules très grands (5-10 cm) dont les bractées externes peuvent atteindre 1 cm de largeur.



Figure 2. *Inula britannica* L., Tessier et Lacoursière, herbier de l'U.Q.T.R.

Inula britannica L. forme une colonie d'environ 50 m² (fig. 1) sur la rive nord de l'île Dupas, presque en face du quai de Saint-Barthélémy. La plante se trouve dans une zone de pâturage appelée « commune » par les riverains. Il s'agit d'une prairie plus ou moins naturelle qu'utilisent les éleveurs de la région pour disposer « de plus de surface pour leur culture ou pour les animaux conservés à la ferme » (de Koninck, 1970, p. 91). Le milieu est humide, la nappe phréatique variant de 0 à -50 cm de profondeur. La flore est très diversifiée; les graminées entre autres sont bien représentées par *Phleum pratense* L., *Phalaris arundinacea* L., *Agrostis alba* L., *Alopecurus pratensis* L., *Agropyron repens* (L.) Beauv.; on y trouve également *Lythrum salicaria* L., *Lycopus uniflorus* Michx., *Rumex crispus* L., *Anemone canadensis* L., *Ranunculus acris* L., *Scirpus atrovirens* Willd., pour ne nommer que les principales espèces.

Boivin (1966) signale la présence d'*Inula britannica* L. en Ontario, près de Toronto. Scoggan (1979, p. 1571) confirme le maintien de cette colonie et il écrit à propos de la distribution d'*Inula britannica* L.: « Eurasian; apparently known in the wild state in North America only from a single stand on the banks of the Etobicoke R. in Peel Co., s Ont., w of Toronto, where first taken by J. A. Simon in 1928... ». Cette espèce par contre est bien connue en Europe. On peut alors se demander s'il ne s'agit pas d'une introduction récente d'origine européenne via le fleuve Saint-Laurent et les Grands Lacs. Il est certain que la voie de navigation du fleuve Saint-Laurent a toujours joué un rôle important dans l'apport d'espèces végétales d'Eurasie et les exemples qu'on peut citer sont nombreux: *Butomus umbellatus* L., *Lythrum salicaria* L., *Tanacetum vulgare* L., *Inula helenium* L., etc. (Marie-Victorin, 1964). D'autres espèces par contre nous viennent des Grands Lacs: *Rudbeckia hirta* L., *Matricaria matricarioides* (Less.) Porter (Marie-Victorin, 1964).

De par leur situation, les îles de Berthier-Sorel constituent un milieu privilégié pour l'implantation de nouvelles espèces. En effet, l'archipel, composé d'une trentaine d'îles, représente une entité naturelle remarquable dans la vallée du Saint-Laurent, car il est particulièrement bien conservé. Une étude plus approfondie de la flore de cet endroit nous conduirait peut-être à la découverte d'autres cas qui permettraient de vérifier l'hypothèse de l'introduction par voie de navigation.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Dr Bernard Boivin, Institut de recherches biosystématiques, Agriculture Canada, qui a bien voulu vérifier l'identité de nos spécimens et le Groupe de recherche sur les insectes piqueurs de l'Université du Québec à Trois-Rivières qui a soutenu financièrement nos travaux de recherche dans les îles de Berthier.

Références

- BERGERON, R., 1974. Impact de la présence du bétail sur les îles communales avec référence particulière à la commune de l'île Dupas. — Office de planification et de développement du Québec, Ministère du tourisme, de la chasse et de la pêche, Québec, 150 p.
- BOIVIN, B., 1966. Énumération des plantes du Canada. — *Naturaliste can.*, 93, 989-1063.
- KONINCK de, R., 1970. Les Cent-Îles du lac Saint-Pierre. — Presses Univ. Laval, Québec, 125 p.
- MARIE-VICTORIN, 1964. Flore laurentienne, deuxième édition revue et corrigée par Ernest Rouleau. — Presses Univ. de Montréal, Montréal, 927 p.
- SCOGGAN, H. J., 1979. The Flora of Canada. Part 4, Dicotyledoneae (Loasaceae to Compositae). — *Natn. Mus. nat. Sci.*, Ottawa.

AN OCCURRENCE OF RIGHT WHALES (*EUBALAENA GLACIALIS*) ON THE NORTH SHORE OF THE GULF OF ST. LAWRENCE

R. SEARS

Mingan Island Cetacean Study
East Falmouth, Massachusetts 02536, U.S.A.

Résumé

Des baleines franches (*Eubalaena glacialis*) furent observées dans la baie de Moisie (Côte-Nord, Québec) à 2-4 kilomètres de la côte (50°18'N. et 65°57'O.) en septembre 1976. C'est la première fois que cette espèce est signalée dans le nord du golfe du Saint-Laurent depuis le 19^e siècle.

Abstract

Right whales (*Eubalaena glacialis*) were sighted 2-4 kilometers off shore in Moisie Bay, Québec North Shore (50°18'N and 65°57'W), during September 1976. This is the first time that this species has been reported from the northern Gulf of St. Lawrence since the late 19th century.

In western North Atlantic, right whale (*Eubalaena glacialis*) is described as having a range from Floridian waters in the south and in the north as far as Iceland. At the present time it is most common from coastal waters off the Carolinas to the Gulf of Maine and north along the coast of Nova Scotia (Leatherwood *et al.*, 1976; Katona, 1975). The last member of the species, in the Gulf of St. Lawrence, was found beached, but alive at Pugwash, Nova Scotia (45°52'N and 63°40'W), in October 1954. Its length was estimated to be 11-12 m (Sergeant *et al.*, 1970).

Eubalaena glacialis was observed in the Moisie Bay, Québec North Shore (50°18'N, 65°57'W), from September 13th through 16th, 1976. The specimens, of which there were 3-4, were between 2 and 5 km from shore during the period of their stay. On the 13th, one right whale was observed as close as 15 m from a 4.5 m rubber outboard, using a 25 HP engine. Visibility was 12 km and the wind at 10-20 km/h throughout the four day period.

The specimen's spout was estimated to be 2-3 m in height and V-shaped when observed from directly behind. No dorsal fin was present and raised flukes were observed, on occasion, as the whale dived. The flukes were smooth in contour, notched at the mid-point,

and dark in color on the dorsal and ventral side. Callosities were observed on top of the upper jaw and the bonnet as the whale broke surface.

From September 14th through the 16th, 2-3 right whales were observed from shore position only. This platform was 6 m in height and 7 × 35 power binoculars were used when observing. Throughout the specimens stay in Moisie Bay they swam parallel to the shore, moving back and forth perhaps either feeding or in search of food. The specimens were last seen heading in a southwesterly direction out of Moisie Bay.

Eubalaena glacialis was one of the first whales hunted as early as the 16th century and by the 1750's was so reduced in numbers that its pursuit was no longer commercially viable (Allen, 1908). However, whalers still hunted members of this species, though scarce, well into the late 19th century. Though *Eubalaena* has been protected for 40 years or more, the lack of control in whaling all but caused its extinction. The right whale numbers are so low that the present data do not indicate a reliable trend to confirm an increase in the population (Mitchell, 1973).

These sightings of *Eubalaena* show that it still frequents the Gulf of St. Lawrence and that because its numbers are so reduced the sighting of this species is a rarity.

References

- ALLEN, J. A., 1908. The North Atlantic right whale and its near allies. — *Bull. Am. Mus. nat. Hist.*, 24: 277-329.
- KATONA, S. K., 1975. Whales of the Gulf of Maine. — College of the Atlantic, Bar Harbor, Maine.
- LEATHERWOOD, S., D. K. CALDWELL, H. E. WINN, 1976. Whales, dolphins, and porpoises of the Western North Atlantic. A guide to their identification. — NOAA Tech. Rep. NMFS CIRC-396, 176 p.
- MITCHELL, E. D., 1973. The status of the world's whales. — *Nature Canada*, 2(4): 9-27.
- SERGEANT, D. E., A. W. MANSFIELD, B. BECK, 1970. Inshore records of Cetacea for eastern Canada, 1949-68. — *J. Fish. Res. Bd Can.*, 27: 1903-1915.

REVUE DES LIVRES

JURDANT, M., J.-L. BÉLAIR, V. GÉRARDIN et J.-P. DUCRUC, 1977. **L'Inventaire du Capital-Nature**. Méthode de classification et de cartographie écologique du territoire. Services des études écologiques régionales, Direction régionale des terres, Pêche et Environnement Canada, Québec. 202 p., ill., 22 × 28,5 cm. Relié, \$7.00.

L'ouvrage débute par une synthèse bien structurée qui nous fait découvrir à travers des auteurs comme Dumont, Illich, Meadows, Pearson, Saint-Marc, Toffer, les éléments profonds de la crise actuelle de l'environnement et de la dégradation de la qualité de la vie. C'est ainsi que le préambule et l'introduction expliquent la nécessité d'une planification écologique du territoire à l'aide de l'«*inventaire du Capital-Nature*» ou de l'«*inventaire écologique*».

Dans un premier chapitre, les auteurs dressent brièvement les buts et les objectifs d'un inventaire écologique. Ils signalent que la méthode proposée repose sur la réalisation de documents cartographiques dont les unités sont identifiées, caractérisées et nommées par les composantes biophysiques les plus permanentes de l'environnement. Puis, on explique que la méthodologie s'appuie sur la conception de «*l'écosystème selon laquelle celui-ci est composé de deux parties indissociables, l'une physique, le géosystème et l'autre biologique, le biosystème*» (p. 15). Cela constitue le deuxième chapitre où l'on mentionne que la méthodologie décrite procède selon une intégration *a priori* des différentes variables de l'écosystème. Le troisième chapitre énumère les critères de classification utilisés pour l'expression de la réalité des écosystèmes ou de la représentation spatiale des unités écologiques. Le livre entreprend ensuite la définition des divers niveaux de perception de l'espace (chapitre 4). Comme la méthodologie décrite repose essentiellement sur la représentation cartographique du milieu, les auteurs ont pris grand soin d'expliquer l'importance de cartographier le territoire à une échelle appropriée afin que l'on puisse obtenir de chaque «*palier dimensionnel territorial*» (p. 21) une image globale mais aussi détaillée que possible de l'entité spatiale décrite. Le chapitre 5 est celui qui expose vraiment la méthode de classification et de cartographie que les auteurs proposent. Ils suggèrent une approche multidisciplinaire et donnent également les différentes étapes à suivre pour réaliser la classification et la cartographie de l'espace. Le chapitre suivant est consacré aux cheminements suivis lors de l'étude de la végétation dans le cadre d'un inventaire écologique intégré. C'est une partie qui tranche fortement

sur les autres. Quant au chapitre 7, il indique comment les stations écologiques de référence, qui servent de base à la classification des *types écologiques* et des *phases écologiques*, sont décrites de façon aussi objective que possible à l'aide d'un langage uniforme et normalisé. On y détaille le contenu du relevé phytosociologique, du relevé pédologique, du relevé dendrométrique et de la description générale du milieu. Finalement, les deux derniers chapitres traitent des diverses interprétations possibles pour l'aménagement du territoire à partir de la carte écologique de base. Les auteurs illustrent comment on peut à partir de celle-ci réaliser rapidement une dizaine d'autres cartes sectorielles. De plus, l'ouvrage examine l'apport de ces dernières dans le processus de développement, de planification et d'aménagement de l'espace. Le texte écrit, qui correspond à la première partie, est relativement court et compte pour environ la moitié du livre.

Quant à la deuxième partie, elle illustre la méthode de classification et de cartographie écologique discutée auparavant. Une cinquantaine de cartes, de nombreux tableaux et des figures permettent au lecteur de mieux saisir les diverses notions discutées auparavant. Signalons que les schémas explicatifs, qui couvrent vingt pages, sont tous excellents. Ils aident beaucoup à la compréhension du texte parfois aride. Pour leur part, les photographies en noir et blanc remplissent environ trente-deux pages. Certaines aident beaucoup à la compréhension, mais plusieurs auraient pu être enlevées sans nuire à l'ouvrage (p. 46 à 55). Quant aux cartes en couleur, elles forment un tout de près de cinquante pages et illustrent exactement les notions que les auteurs ont voulu élaborer.

On discute dans cet ouvrage d'une méthodologie que l'on dit applicable à toutes les régions du Canada, même si les nombreux exemples contenus dans le document portent essentiellement sur la région du Saguenay/Lac-Saint-Jean. Il est donc très intéressant de parcourir un livre où l'on peut reconnaître et identifier des portions du territoire québécois, ce qui est rare.

Par ailleurs, les auteurs insistent beaucoup sur l'importance du dialogue entre le scientifique et la population. C'est pourquoi ils ont voulu que leur méthodologie soit facilement compréhensible et que les documents cartographiques réalisés puissent être aisément consultés et utilisés. Cependant, à la lecture de l'ouvrage, on peut avoir des doutes sérieux sur cette possibilité. La symbolisation des cartes est complexe et les utilisateurs pourraient difficilement travailler seuls avec ces

cartes écologiques. Ils doivent soit posséder de sérieuses connaissances en pédologie et en dynamisme de la végétation ou bien avoir recours à l'équipe multidisciplinaire qui a réalisé le document cartographique de base. On peut aussi rapprocher aux auteurs de ne pas renseigner suffisamment le lecteur sur la manière de dresser les cartes écologiques dont il est question dans ce livre. Ainsi, le nombreux exemples fournis ont pour but d'illustrer la méthodologie, alors que le lecteur ne parvient pas toujours à comprendre exactement comment on est arrivé à constituer toutes ces cartes impressionnantes par leur diversité d'application. Il en est de même pour la reconnaissance des différents niveaux de perception de l'espace. Toutefois, cela n'enlève rien à la valeur de la méthodologie et à son utilité en aménagement du territoire. De plus, il est heureux de constater que les auteurs ont voulu tendre vers une méthode de classification du territoire orientée par des préoccupations environnementales et par un désir de répondre aux besoins des éventuels utilisateurs. C'est ainsi qu'ils ont tenté, à juste titre, d'élaborer une classification qui pourra être évaluée sur la base de sa valeur pratique, en fonction d'objectifs fixes, plutôt que sur une valeur scientifique toujours contestable.

Ceux au Québec qui ont longtemps associé l'inventaire écologique à une étude de la végétation seront surpris de constater la faible place que l'on semble réserver aux plantes dans les cartes écologiques. Si ce n'était du chapitre 6, la méthodologie telle que décrite et illustrée laisserait souvent croire que les variables écologiques prépondérantes et cartographiées ne comprennent pas la végétation. On parle beaucoup de l'importance du relief, de la physiographie, du climat, de la géomorphologie, du sol ... et, bien que l'on étudie la végétation sur le terrain, on ne comprend pas toujours son utilisation véritable dans la cartographie écologique. Il s'agit sûrement là d'une rupture avec la tradition écologique pratiquée au Québec. Il en est de même pour la notion d'intégration *a priori* des données de sol et de végétation dans un cadre de référence géomorphologique. Ce type d'intégration peut toutefois signifier pour les utilisateurs la nécessité d'avoir une confiance presque aveugle dans la carte écologique dressée par l'équipe multidisciplinaire. En effet, déjà dans cette carte, on a intégré *a priori* les relations entre les ressources biophysiques dans ces contours précis, à l'intérieur desquels on peut dresser différentes cartes factuelles.

Il s'agit là d'un ouvrage important pour la réalisation des futurs travaux en écologie et en aménagement. Nul doute que celui-ci pourra être avantageusement utilisé pour l'enseignement collégial et universitaire. De plus, il s'adresse à tous ceux qui s'intéressent à l'aménagement de l'espace. Ce livre constitue en définitive une étape fondamentale dans la réflexion et la pratique de

l'aménagement écologique au Québec et dans le monde.

Léopold GAUDREAU

*Bureau d'audiences publiques
sur l'environnement, Québec*

GREEN, R. H., 1979. **Sampling design and statistical methods for environmental biologists.** Wiley-Interscience, Toronto. XI + 257 p., 64 fig. 16 × 24 cm. Relié, \$19.95.

De par son titre, on pourrait croire que l'ouvrage de Green ne constitue qu'un autre livre de statistique. Il n'en est rien : son livre se veut un guide de la méthode scientifique pour la biologie de l'environnement. L'auteur, lui-même biologiste, se voit constamment questionné par collègues et étudiants sur les méthodes quantitatives à utiliser pour analyser des impacts écologiques. Contrairement aux manuels classiques de statistiques, qui ressemblent davantage à des recueils de réponses à des questions qui souvent ne se posent même pas, celui de Green apparaît comme une trousse d'outils sérieusement choisis et minutieusement organisés. L'auteur perçoit la statistique comme l'un, et non le seul, des outils du scientifique. Et tout comme la fonction du marteau est bien mal remplie par la clé, fût-elle anglaise, la statistique semble irremplaçable pour mettre à l'épreuve une hypothèse de recherche. Bien qu'il ne soit pas statisticien de formation, Green traite de la statistique avec aisance et compétence; les peintres de la Renaissance fabriquaient bien leurs pincesaux eux-mêmes.

L'auteur veut organiser et rendre accessible une sélection de techniques statistiques appropriées à l'analyse d'impact écologique. Il tient pour acquis que le lecteur a une connaissance de niveau universitaire des mathématiques, de la statistique et de l'écologie. Face à un impact à analyser, il faut se référer aux principes de base de la méthode scientifique, décider des modes d'analyse et d'échantillonnage et suivre une séquence précise durant la recherche selon que l'impact a déjà eu lieu ou non : telles sont les trois parties du livre.

Il est étonnant de noter que le biologiste ignore quelquefois les principes de base de la méthode statistique utilisée. Il y a dix principes, selon Green, dont chacun est aussi nécessaire dans l'analyse que chaque maillon dans une chaîne. (1) L'hypothèse doit être réfutable, ne comporter qu'une alternative, sans quoi le test avortera. Comme les hypothèses d'impact sont rarement binaires, il suffit de créer un dispositif expérimental par étapes. Le principe derrière les (2) répétitions, (3) l'échantillonnage aléatoire et (4) les échantillons-témoins tient à la normalité des populations biologiques. Bien que plusieurs tests soient robustes quant à la normalité, tous donne-

ront des résultats biaisés si l'échantillonnage n'est pas aléatoire et aucun ne sera concluant en l'absence de répétitions expérimentales ou de témoins. Un autre principe, sur lequel trébuche plus d'un scientifique, consiste (5) à faire un pré-échantillonnage. Le défaut de s'y soumettre sauve généralement un mois de travail et coûte ensuite une année de plus pour tout recommencer: tel est le châtement de celui qui sous-estime l'effectif, par ignorance de la variance de la population étudiée. Green explique ensuite l'importance de (6) s'assurer que l'on mesure bien ce que l'on croit mesurer, (7) de stratifier l'aire d'étude au besoin, (8) de bien évaluer la dimension de l'unité d'échantillonnage et, (9) de s'assurer de l'homogénéité de la variance au sein de la population. Finalement, l'auteur rappelle que la méthode d'analyse se détermine avant d'établir le dispositif expérimental et que (10) les résultats doivent être acceptés; les soumettre à de nouvelles analyses *a posteriori* est grossièrement incorrect.

Un impact écologique se manifeste par des variations dans le temps et dans l'espace des paramètres des populations animales et végétales de l'écosystème touché. Ceci suppose des répétitions dans le dispositif expérimental de façon à échantillonner avant et après l'impact, ou en des régions touchées et non touchées par l'impact, ou les deux à la fois. Les décisions quant au choix du dispositif expérimental, des variables à mesurer, de leurs transformations, des indices, rapports et autres variables dérivées sont discutées clairement par Green. La sélection des données d'échantillonnage à conserver pour l'analyse et le choix des programmes d'ordinateur sont aussi traités. Enfin, Green suggère une présentation visuelle des résultats qui soit informative et convaincante, tout en évitant les longs tableaux de chiffres qui ennuient les lecteurs.

La séquence à suivre dans l'implantation du dispositif expérimental variera grandement selon que l'impact a déjà eu lieu ou non, selon qu'est connue ou non sa position dans le temps et dans l'espace et selon qu'il y a ou non une région témoin. Si l'on entreprend l'étude avant que n'ait lieu l'impact, on peut établir un dispositif optimal pourvu que l'on sache où et quand il aura lieu et que l'on établisse une région témoin. Sans région témoin, l'impact devra être déduit à partir des variations temporelles seulement. Si, en plus, on ignore où et quand il aura lieu, le dispositif devra alors prendre la forme d'une étude de surveillance (*monitoring*) biologique. Si par ailleurs l'impact est déjà survenu au moment où commence l'étude, on devra déduire son importance à partir de variations spatiales seulement. Enfin, si l'on ignore où et quand a eu lieu un impact, on devra nécessairement trouver le moment et l'endroit avant de pouvoir procéder.

Le livre de Green constitue un ouvrage d'application utile au praticien. L'insistance est mise sur l'essentiel de la méthode scientifique, le test d'hypothèses. En analyse d'impact comme ailleurs, la mise à l'épreuve de l'hypothèse de re-

cherche fait toute la différence entre des conclusions claires et inattaquables, par opposition à des conclusions spéculatives en l'absence d'hypothèse précise. Green enfin termine son livre avec une liste de références annotées qui renvoient aux sections où elles sont citées. Fait étonnant, l'auteur y omet certains ouvrages dans la même ligne de pensée que le sien, tels *Biometrical interpretation* de Gilbert (Orford University Press, 1978) et *Adaptive environmental assessment and management* de Holling (Wiley-Interscience, 1978). On pourrait également lui reprocher son choix un peu restreint et biaisé des analyses statistiques et des exemples, mais une sélection plus exhaustive aurait donné l'apparence d'un gros livre de recettes culinaires. La rigueur de la procédure suggérée par l'auteur s'avère convaincante et donne une grande crédibilité aux études d'impact ainsi conduites. Cependant on doit se demander si le praticien obligé de présenter à court terme un rapport d'impact à son patron aura le loisir d'utiliser une méthode aussi exigeante. Ou peut-être Green convaincra-t-il les gestionnaires qu'il faut un peu plus de temps pour obtenir des résultats non équivoques.

Pierre BELLEFLEUR

Département d'écologie et pédologie
Université Laval, Québec

LORTIE, M., 1979. **Arbres, forêts et perturbations naturelles au Québec**. Presses Univ. Laval, Québec. 172 p., ill., 14 × 21,5 cm. Broché, \$14,00.

Bien qu'il ait été écrit à l'intention du non-spécialiste, ce livre abondamment illustré apporte également une contribution importante en ce qui a trait à la compréhension du rôle que jouent les éléments perturbateurs dans l'écologie des forêts du Québec. Trop souvent, l'on considère l'évolution d'un peuplement vers le climat comme une succession d'événements harmonieux sans tenir compte d'éléments moins prédictibles, tels le feu, les insectes, les maladies et le climat. Par un choix judicieux d'exemples, l'auteur réussit à démontrer que ces éléments perturbateurs font partie intégrale de l'écologie du milieu forestier. De plus, il devient clair à la lecture de ce texte que la venue d'un élément perturbateur crée souvent un effet d'entraînement susceptible de promouvoir la venue d'un second événement capable à son tour de modifier le cours normal de la succession végétale. Est-il nécessaire de rappeler que la fréquence de ces phénomènes est très élevée, et que l'auteur ne traite que de quelques cas, choisis bien sûr parmi les plus spectaculaires, mais qui ne font que suggérer l'importance des perturbations naturelles dans l'évolution des forêts.

En plus de ses qualités conceptuelles, on se doit de signaler la valeur historique de cet ouvrage. Par son souci de la recherche et par son

langage simple. l'auteur trace un tableau précis de plusieurs événements importants qui ont marqué l'évolution des forêts du Québec.

Le *dépérissement du bouleau* : de l'origine des grands peuplements de bouleau blanc, à la progression de la maladie et des recherches, l'auteur, qui a consacré une grande partie de ses activités de recherche à la compréhension de ce problème, nous amène à réfléchir sur les disparitions partielles de cette espèce de bon nombre de peuplements et son remplacement par le sapin et l'épinette blanche, qui à leur tour, seront victimes de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Les *incendies* de 1870, 1923 et de la rivière York, servent à illustrer le comportement des feux d'origine naturelle et accidentelle et leur effet sur la succession végétale des forêts. Dépendant de l'intensité du feu, de la nature des sols et du climat, on voit comment ces derniers ont donné naissance à des peuplements équiennes et le plus souvent mono spécifiques qui en vieillissant ont préparé la venue de phénomènes nouveaux, tels que les épidémies d'insectes et le dépérissement du bouleau. Enfin, les *insectes* sont également traités en fonction de leur capacité d'envahir de vastes territoires et d'y entraîner des changements majeurs de la structure et de la composition des forêts. Les épidémies récentes de la ténthrede de Swaine et de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont donc revues dans ce contexte. Dans le premier cas, il s'agit d'un insecte qui s'attaque uniquement au pin gris et dont l'activité dans les peuplements approchant la maturité ne peut être dissociée des grands feux de forêts qui, dans certaines circonstances ont été à l'origine de ces mêmes peuplements. En ce qui a trait à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, l'auteur fait intervenir le lien qui existe entre les pratiques de coupe, le dépérissement du bouleau, la mouche à scie européenne de l'épinette et la tordeuse elle-même en tant qu'agents susceptibles de favoriser une régénération en sapin apte à influencer le comportement des épidémies. Ces modifications du milieu ne sont pas nécessairement responsables du déclenchement des épidémies, mais contribuent largement à déterminer l'intensité et la durée de ces dernières.

Enfin, le *verglas* et des *maladies fongiques* tels les chancre et les caries sont abordés en tant qu'agents perturbateurs qui agissent de façon plus subtile, mais qui ne contribuent pas moins pour cela à modifier la composition des forêts. En ce sens, le verglas joue un rôle transitoire puisqu'il peut affecter des territoires assez vastes, à une fréquence assez rapprochée. Cependant, le verglas entraîne rarement la mort des arbres, les prédisposant plutôt à l'attaque des chancres et des caries. Le rôle que jouent ces deux derniers agents est encore plus subtil, s'attaquant souvent à des arbres plutôt que des peuplements et par surcroît à des espèces particulières plutôt qu'à l'ensemble des espèces qui constituent une association forestière. De plus, ils agissent lentement, mais pourtant, il s'agit là d'agents perbur-

bateurs réels capables de modifier la composition en espèces et de rajeunir continuellement les grands massifs forestiers.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la simplicité du langage utilisé dans cet ouvrage le rend accessible à tous ceux qui s'intéressent aux forêts. Cependant, il ne faudrait pas que les spécialistes du milieu forestier soient pour cette raison exclus du public qui sera rejoint par ce livre. En effet, l'importance des concepts qui y sont développés est susceptible d'amener même les spécialistes du milieu forestier à réfléchir sur l'importance de ces phénomènes naturels et leur relation avec l'aménagement des forêts.

Yvan HARDY

*Département d'aménagement
et de sylviculture
Université Laval, Québec*

KEENLEYSIDE, M. H. A., 1979. **Diversity and adaptation in fish behavior**. Springer-Verlag, New York, Berlin. xii + 208 p. 16 × 22 cm. Relié-toile, US \$37,90.

Ce volume, le numéro 11 d'une série de livres de zoophysiologie, présente certains aspects du comportement des poissons: la locomotion, les comportements d'alimentation, les mécanismes de protection contre la prédation, les comportements liés à la reproduction (sélection et préparation des sites de frai, accouplement et soins parentaux) et l'organisation sociale. Les volumes de cette série sont concis et, par conséquent, plusieurs problèmes importants de causalité, de développement et d'apprentissage ne sont pas abordés.

Les mouvements des poissons dans l'eau, sur la terre et même dans l'air sont décrits au chapitre 1. La locomotion est considérée comme importante parce qu'elle permet aux poissons d'accomplir leurs fonctions vitales: alimentation, fuite des prédateurs et reproduction. Les habitudes alimentaires des poissons sont classifiées et présentées au chapitre 2, qui comprend aussi une section sur l'influence du groupe sur le comportement d'alimentation et une discussion brève de l'«*optimal foraging theory*». Cette discussion est nécessairement courte, puisqu'à l'exception d'Earl Werner et ses collègues de l'Université de l'État du Michigan, les éthologistes des poissons sont en retard sur les autres écologistes dans ce domaine de recherche. Le chapitre 3 discute les divers mécanismes de protection contre les prédateurs (camouflage, fuite, réactions d'alarme, comportement de banc et adaptations morphologiques). La section sur le comportement de banc est intéressante, surtout pour les biologistes des pêches. Ce comportement protège efficacement contre les prédateurs, mais il peut être très désavantageux quand l'homme, avec ses techniques de pêche raffinées,

est le prédateur. Nous avons besoin de beaucoup plus de recherches sur les relations entre la taille des bancs et la densité des populations, si nous voulons éviter la surexploitation.

Les éthologistes des poissons ont consacré la plupart de leurs efforts à l'étude de la reproduction et cela se reflète dans ce livre. Le chapitre 4 discute comment les poissons creusent et préparent leurs sites de frai et comment les espèces qui construisent des nids procèdent. Le chapitre 5 sur la reproduction discute du comportement de parade sexuelle et des modalités de la fécondation. Dans le chapitre 6, on examine le soin et la protection des œufs, le rôle qu'y jouent le mâle et la femelle et l'évolution des comportements parentaux. La plupart de ces discussions s'appuient sur la littérature traitant des Cichlidés. Finalement, les modes d'organisation sociale sont décrits au chapitre 7.

Le livre est bien écrit, les illustrations sont exemplaires et j'ai trouvé peu d'erreurs typographiques. L'approche est descriptive, mais plusieurs exemples d'études expérimentales sont présentés. L'accent est mis sur le comportement comme facteur écologique, avec une attention spéciale portée aux études effectuées sur le terrain, et cet ouvrage sera donc utile aux écologistes aquatiques et aux biologistes des pêches aussi bien qu'aux éthologistes. On peut soulever une critique mineure, peut-être importante aux yeux des sémanticiens: l'auteur emploie le mot «*strategy*» dans plusieurs contextes différents. Par exemple, il parle de «*feeding strategies*» en se référant aux fines variations du comportement de recherche de nourriture, mais, lorsqu'il discute du comportement reproducteur, il utilise aussi le mot *stratégie* pour désigner les éléments du comportement qui ont évolué pour adapter l'animal aux caractéristiques spatio-temporelles majeures de l'environnement. La décision de frayer, ou d'employer tel ou tel type de soin parental, est proprement stratégique, mais le mot «*tactique*» devrait plutôt être utilisé pour décrire les décisions immédiates, comme par exemple, la décision d'un parent d'arrêter l'aération des œufs pour s'alimenter. Malgré ce point, ce livre est absolument nécessaire pour tous les éthologistes des poissons et sera sans doute bien reçu par les ichthyologistes en général.

G. FITZGERALD

Département de biologie
Université Laval, Québec.

BOUCHET, Ph., 1979. **Abrégé de cryptogamie**. Masson, Paris. Abrégés de pharmacie, sous la direction des Pr M. M. Janot et Y. Cohen. 224 p., 83 figs, 13,5 × 21 cm. Broché snolin, prix non indiqué. ISBN: 2-225-62360-0.

À l'époque de la spécialisation, est-il encore possible de réussir un «Abrégé» d'un domaine

aussi vaste que celui de la cryptogamie? Monsieur Ph. Bouchet, Maître de Conférences agrégé à l'Université de Reims, a tenté l'expérience et en fait une démonstration dans cet ouvrage de synthèse. La préface de Y. L. Guinard nous laisse présager déjà un parfum de cryptogamie pharmaceutique de ce travail, qui nous est ensuite confirmé par un bref texte de présentation de la collection ainsi que par toute la structure du livre aussi bien que par les mises en garde de l'avant-propos.

Les cinq parties de l'ouvrage présentent, successivement, des généralités sur les cryptogames, puis les algues, les caractères généraux des champignons ou mycètes, la morphologie et la reproduction des principaux groupes de champignons et, finalement, les champignons à carpophores développés (Macromycètes comestibles et vénéneux).

La cryptogamie est une science pluridisciplinaire non seulement par ses exigences de base, mais par les services qu'elle rend à l'humanité. La reconnaissance des entités histologiques du domaine de la cryptogamie, ainsi que leur potentiel biochimique et génétique ont toujours préoccupé les scientifiques: botanistes, pharmaciens, biochimistes, médecins et agronomes ne peuvent se passer des connaissances de ce règne et ne peuvent plus ignorer la richesse ou les dangers que ces organismes représentent. Après un exposé synthétique, l'auteur fournit les éléments de systématique nécessaires à la classification de ces organismes, ainsi que les notions indispensables à la compréhension de leur comportement. Les aspects pratiques dans le domaine mycologique ou médical sont cités en exemple. Bien qu'il s'agisse d'un ouvrage destiné à traiter l'ensemble de la cryptogamie, une partie plus importante est consacrée aux champignons qu'aux autres représentants. Ce livre est enrichi par des illustrations fort agréables, mais malheureusement trop schématisées. Les étudiants en pharmacie, médecine, botanique ou agriculture y trouveront sans aucun doute des notions de base très importantes pour leur formation. Néanmoins, une bibliographie des sources utilisées aurait pu permettre aux plus curieux d'y puiser des renseignements plus spécifiques.

L'abrégé de cryptogamie, malgré la complexité du sujet à traiter, réussit non seulement à ouvrir l'horizon, mais à fournir des notions fondamentales. Par ces faits, cet ouvrage devrait recevoir un accueil favorable de tous les intéressés.

G. M. OLÁH

Département de phytologie
Université Laval

HODGINS, J. L., 1978. **A guide to the literature on the herbaceous vascular flora of Ontario**, revised ed. Botany Press, Toronto. vi + 74 p. 28 × 21,5 cm. Dactylographié et reprographié, reliure à ressort, \$4,00.

Il s'agit d'une compilation de références, réparties en quelques sections: flores et guides, plantes utilisées pour la nourriture, la médecine ou l'artisanat, écologie, histoire, etc. Vingt-neuf pages sont consacrées à la partie systématique, qui regroupe sous les noms des genres des articles de périodiques. Malheureusement, cette section n'inclut ni les Cypéracées, ni les Graminées, ni (comme le titre l'indique) les plantes ligneuses, et elle ignore des travaux très pertinents pour plusieurs des genres mentionnés. La liste des inventaires botaniques qui ont été pour-

suivis dans les diverses régions de l'Ontario (p. 51-66: 140 références) est sûrement plus utile, car elle mentionne plusieurs travaux manuscrits ou difficilement repérables. C'est un guide sans doute incomplet, mais qui pourra être utile à ceux qui sont intéressés à la flore de l'Ontario et des régions adjacentes.

Pierre MORISSET

*Département de biologie
Université Laval, Québec*

VOLUME 106, 1979

LE NATURALISTE CANADIEN

Fondé en 1868 par l'abbé Léon Provancher

PUBLICATION DE L'UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

SOMMAIRE GÉNÉRAL DU VOLUME 106

Numéro 1

EL-SABH, M. I., E. BOURGET, J. M. BEWERS et J.-C. DIONNE. Avant-propos	7-12
OUELLET, Yvon et Clifford TRUMP. La circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du Saint-Laurent	13-26
MUIR, Langley R. Internal tides in the middle estuary of the St. Lawrence	27-36
AUBIN, F., T. S. MURTY and M. I. EL-SABH. Numerical simulation of the movement and dispersion of oil slicks in the upper St. Lawrence Estuary: preliminary results	37-44
INGRAM, R. Grant. Water mass modification in the St. Lawrence Estuary	45-54
EL-SABH, Mohammed I. The lower St. Lawrence Estuary as a physical oceanographic system	55-73
KOUTITONSKY, Vladimir G. Transport de masses d'eau à l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent	75-88
EL-SABH, M. I., T. S. MURTY et L. LÉVESQUE. Mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent	89-104
GODIN, Gabriel. La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent	105-121
OUELLET, Yvon et José LLAMAS. Complément et analyse des hauteurs de vagues dans le golfe du Saint-Laurent	123-139
MARTY, J. C. et A. CHOINIÈRE. Acides gras et hydrocarbures de l'écume marine et de la microcouche de surface	141-147
BEWERS, J. M. and P. A. YEATS. The behavior of trace metals in estuaries of the St. Lawrence basin	149-161
KRANCK, Kate. Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary	163-173
FORTIN, Guy et Georges DRAPEAU. Envasement du port de Gros-Cacouna, situé dans l'estuaire du Saint-Laurent	175-188
CÔTÉ, Raynald et Guy LACROIX. Variabilité journalière de la chlorophylle a et des taux de production primaire dans le fjord du Saguenay	189-198
BRETON-PROVENCHER, M., J. A. GAGNÉ et A. CARDINAL. Estimation de la production des algues benthiques médiolittorales dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent	199-209
ROBERT, Ginette. Benthic molluscan fauna of the St. Lawrence estuary and its ecology as assessed by numerical methods	211-227
MASSAD, Rafat et Pierre BRUNEL. Associations par stations, densités et diversité des Polychètes du benthos circalitoral et bathyal de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. (Québec)	229-253
MESSIEH, S. N., G. CÔTÉ et J. BOULVA. La pêche du hareng de Gaspé	255-271
ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE	273-276

Numéro 2

PINEL-ALLOUL, Bernadette et Étienne MAGNIN. Étude de la nourriture de <i>Lymnaea catascopium catascopium</i> (Gastropoda, Lymnaeidae) dans le lac Saint-Louis, fleuve Saint-Laurent, Québec	277-287
PINEL-ALLOUL, Bernadette. Communautés zooplanctoniques d'un petit lac de la Radissonie	289-304
BARBOUR, S. E., P. J. ROMBOUGH and J. J. KERKES. A life history and ecologic study of an isolated population of "dwarf" Ouananiche, <i>Salmo salar</i> , from Gros Morne National Park, Newfoundland	305-311
DOYON, Dominique et Gérard CLABAULT. Application de l'analyse factorielle des correspondances à l'étude des pâturages semi-naturels de la région de Québec	313-330
GERVAIS, Camille. Le <i>Chenopodium strictum</i> Roth au Québec et ses caractères distinctifs ..	331-336
COMMUNICATIONS BRÈVES:	
CURTIS, Mark A. Metazoan parasites of resident arctic char (<i>Salvelinus alpinus</i>) from a small lake on southern Baffin Island	337-338
SIROIS, Luc. Premières mentions du <i>Mimulus moschatus</i> Dougl. pour l'est du Québec	339
GAGNON, J. D. et H. S. D. SWAN. Réaction à la fertilisation, à l'éclaircie et à la combinaison des deux dans un peuplement de sapin âgé de 10-20 ans	341-343
NOTICE NÉCROLOGIQUE:	
BERGERON, Julien et Paul DUSSAULT. Alexandre Marcotte (1914-1979)	345-346
REVUE DES LIVRES	347-353

Numéro 3

LÉVESQUE, Claire, Jean-Guy PILON, Jean DUBÉ et Gilles-Y. LÉVESQUE. Phénologie et activité locomotrice de Coléoptères Carabidae des Laurentides (Québec)	355-368
LÉGER, R. G. et G. J. F. MILLETTE. Distribution écologique des vers de terre (Oligochaeta: Lumbricidae) dans la forêt du Morgan Arboretum	369-376
MAGNIN, Étienne et Anne-Marie CLÉMENT. Croissance et régime alimentaire des ménominis ronds <i>Prosopium cylindraceum</i> (Pallas) du territoire de la Baie James	377-386
LOAN, C. C. Three new species of <i>Peristenus</i> Foerster from Canada and western Europe (Hymenoptera: Braconidae, Euphorinae)	387-391
LOAN, C. C. and J. HOLLIDAY. Euphorinae parasitic on ground beetles with descriptions of three new species of <i>Microctonus</i> Wesmael (Hymenoptera: Braconidae, and Coleoptera: Carabidae)	393-397
SILLANS, Daniel. Étude des mécanismes de l'anesthésie au CO ₂ chez <i>Bombyx mori</i> à l'aide des variations du rythme circulatoire	399-409
COMMUNICATIONS BRÈVES:	
TREMBLAY, D. and G. J. FITZGERALD. Social organization as an anti-predator strategy in fish	411-413

EIRAS, Jorge da Costa et Stella CARRAÇA. Note sur la biologie de <i>Mugil cephalus</i> (L.) du nord du Portugal: variations annuelles des rapports poids-longueur, du rapport hépatosomatique et du coefficient de condition	415-419
REVUE DES LIVRES	421-424

Numéro 4

HENDERSON, G., P.G. HOLLAND and G.L. WERREN. The natural history of a subarctic adventive: <i>Epilobium angustifolium</i> L. (Onagraceæ) at Schefferville, Québec	425-437
CODY, William J., George W. SCOTTER and Stephen S. TALBOT. Additions to the vascular plant flora of Nahanni National Park, Northwest Territories	439-450
GERVAIS, Camille. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique	451-461
BERTRAND, Jean F. et Paul GERVAIS. Évolution du rendement et de la composition chimique de la luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.) avec l'âge	463-470
MOUSSEAU, Pierre. Faune ichthyologique des eaux intérieures des îles de la Madeleine	471-479
CRÊTE, Michel. Estimation de la densité d'orignaux au moyen d'inventaires aériens incomplets	481-483
REVUE DES LIVRES	485-486

Numéros 5-6

CRÊTE, M. et D. ST-HILAIRE. L'hélicoptère et l'avion pour dénombrer les orignaux dans le sud-ouest du Québec	487-495
PLAMONDON, A.P. Fréquence optimale des mesures hydrométéorologiques pour déceler l'effet du scarifiage du site	497-503
LAFLAMME-LÉVESQUE, M., J.M. PERRON et L. JOBIN. Étude des lichens appartenant aux genres <i>Bryoria</i> , <i>Alectoria</i> et <i>Ramalina</i> dans les foyers d'infestation de <i>Lambdina fiscellaria fiscellaria</i> (Guén.) à l'île d'Anticosti	505-510
MASSON, P. et L. PARROT. Polytrichales du Québec: descriptions et clés analytiques	511-533
GIROUX, M. Effets d'un apport d'azote sur les rendements et le contenu en azote total de la luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.)	535-538
CARTER, J.C.H. Zooplankton of the lower Matamek River, Québec	539-546
BEAULIEU, M.-A., S.U. QUADRI and J.M. HANSON. Age, growth, and food habits of the pumpkinseed sunfish, <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus), in Lac Vert, Québec	547-553
LAMBERT, Y. and G.J. FITZGERALD. Summer food and movements of the Atlantic tomcod <i>Microgadus tomcod</i> (Walbaum) in a small tidal creek	555-559
COMMUNICATIONS BRÈVES:	
MALTAIS, P.M. and E.A. OUELLETTE. <i>Dirofilaria scapiceps</i> (leidy, 1886) from the snowshoe hare, <i>Lepus americanus struthopus</i> Bangs, in New Brunswick, Canada	561-562
TESSIER, C. et E. LACOURSIÈRE. <i>Inula britannica</i> L. (Compositae), une nouvelle espèce pour le Québec	563-565
SEARS, R. An occurrence of right whales <i>Eubalaena glacialis</i> on the north shore of the Gulf of St. Lawrence	567-568
REVUE DES LIVRES	569-574

INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS AVEC TITRE

AUBIN, F., T. S. MURTY and M. I. EL-SABH. Numerical simulation of the movement and dispersion of oil slicks in the upper St. Lawrence Estuary: preliminary results	37-44
BARBOUR, S. E., P. J. ROMBOUGH and J. J. KERKES. A life history and ecologic study of an isolated population of "dwarf" Ouananiche, <i>Salmo salar</i> , from Gros Morne National Park, Newfoundland	305-311
BEAULIEU, Marc-André, S. U. QADRI and J. M. HANSON. Age, growth, and food habits of the pumpkinseed sunfish, <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus), in Lac Vert, Québec	547-553
BERTRAND, Jean F. et Paul GERVAIS. Évolution du rendement et de la composition chimique de la luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.) avec l'âge	463-470
BEWERS, J. M. Voir M. I. EL-SABH	7-12
BEWERS, J. M. and P. A. YEATS. The behavior of trace metals in estuaries of the St. Lawrence basin	149-161
BOULVA, J. Voir S. N. MESSIEH	255-271
BOURGET, E. Voir M. I. EL-SABH	7-12
BRETON-PROVENCHER, M., J. A. GAGNÉ et A. CARDINAL. Estimation de la production des algues benthiques médiolittorales dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Québec)	199-209
BRUNEL, Pierre. Voir Rafat MASSAD	229-253
CARDINAL, A. Voir M. BRETON-PROVENCHER	199-209
CARRAÇA, Stella. Voir Jorge da Costa EIRAS	415-419
CARTER, John C. H. Zooplankton of the lower Matamek River, Québec	539-546
CHOINIÈRE, A. Voir J. C. MARTY	141-147
CLABAULT, Gérard. Voir Dominique DOYON	313-330
CLÉMENT, Anne-Marie. Voir Étienne MAGNIN	377-386
CODY, William J., George W. SCOTTER and Stephen S. TALBOT. Additions to the vascular plant flora of Nahanni National Park, Northwest Territories	439-450
CÔTÉ, G. Voir S. N. MESSIEH	255-271
CÔTÉ, Raynald et Guy LACROIX. Variabilité journalière de la chlorophylle <i>a</i> et des taux de production primaire dans le fjord du Saguenay	189-198
CRÊTE, Michel. Estimation de la densité d'orignaux au moyen d'inventaires aériens incomplets	481-483
CRÊTE, Michel et Daniel ST-HILAIRE. L'hélicoptère et l'avion pour dénombrer les orignaux dans le sud-ouest du Québec	487-495
CURTIS, Mark A. Metazoan parasites of resident arctic char (<i>Salvelinus alpinus</i>) from a small lake on southern Baffin Island	337-338
DIONNE, J.-C. Voir M. I. EL-SABH	7-12
DOYON, Dominique et Gérard CLABAULT. Application de l'analyse factorielle des correspondances à l'étude des pâturages semi-naturels de la région de Québec	313-330

DRAPEAU, Georges. Voir Guy FORTIN	175-188
DUBÉ, Jean. Voir Claire LÉVESQUE	355-368
EIRAS, Jorge da Costa et Stella CARRAÇA. Note sur la biologie de <i>Mugil cephalus</i> (L.) du nord du Portugal: variations annuelles des rapports poids-longueur, du rapport hépatosomatique et du coefficient de condition	415-419
EL-SABH, M. I., E. BOURGET, J. M. BEWERS et J.-C. DIONNE. Avant-propos	7-12
EL-SABH, M. I. Voir F. AUBIN	37-44
EL-SABH, Mohammed I. The lower St. Lawrence Estuary as a physical oceanographic system	55-73
EL-SABH, M. I., T. S. MURTY et L. LÉVESQUE. Mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent	89-104
FITZGERALD, G. J. Voir D. TREMBLAY	411-413
FITZGERALD, G. J. Voir Y. LAMBERT	555-559
FORTIN, Guy et Georges DRAPEAU. Envasement du port de Gros-Cacouna, situé dans l'estuaire du Saint-Laurent	175-188
GAGNÉ, J. A. Voir M. BRETON-PROVENCHER	199-209
GAGNON, J. D. et H. S. D. SWAN. Réaction à la fertilisation, à l'éclaircie et à la combinaison des deux dans un peuplement de sapin âgé de 10-20 ans	341-343
GERVAIS, Camille. Le <i>Chenopodium strictum</i> Roth au Québec et ses caractères distinctifs	331-336
GERVAIS, Camille. Liste annotée de nombres chromosomiques de la flore vasculaire du nord-est de l'Amérique	451-461
GERVAIS, Paul. Voir Jean F. BERTRAND	463-470
GIROUX, Marcel. Effets d'apport d'azote sur les rendements et le contenu en azote total de la luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.)	535-538
GODIN, Gabriel. La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent	105-121
HANSON, J. M. Voir Marc-André BEAULIEU	547-553
HENDERSON, G., P. G. HOLLAND and G. L. WERREN. The natural history of subarctic adventive: <i>Epilobium angustifolium</i> L. (Onagraceae) at Schefferville, Québec	425-437
HOLLAND, P. G. Voir G. HENDERSON	425-437
HOLLIDAY, N. J. Voir C. C. LOAN	393-397
INGRAM, R. Grant. Water mass modification in the St. Lawrence Estuary	45-54
JOBIN, L. Voir M. LAFLAMME-LÉVESQUE	505-510
KEREKES, J. J. Voir S. E. BARBOUR	305-311
KOUTITONSKY, Vladimir G. Transport de masses d'eau à l'embouchure de l'estuaire du Saint-Laurent	75-88
KRANCK, Kate. Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary	163-173
LACOURSIÈRE, Estelle. Voir Claude TESSIER	563-565
LACROIX, Guy. Voir Raynald CÔTÉ	189-198
LAFLAMME-LÉVESQUE, M., J.-M. PERRON et L. JOBIN. Étude des lichens appartenant aux genres <i>Bryoria</i> , <i>Alectoria</i> et <i>Ramalina</i> dans les foyers d'infestation de <i>Lambdina fiscellaria fiscellaria</i> (Guén.) à l'île d'Anticosti	505-510

LAMBERT, Y. and G. J. FITZGERALD. Summer food of the Atlantic tomcod <i>Microgadus tomcod</i> (Walbaum) in a small tidal creek	555-559
LÉGER, R. G. et G. J. F. MILLETTE. Distribution écologique des vers de terre (Oligochaeta: Lumbricidae) dans la forêt du Morgan Arboretum	369-376
LÉVESQUE, Claire, Jean-Guy PILON, Jean DUBÉ et Gilles-Y. LÉVESQUE. Phénologie et activité locomotrice de Coléoptères Carabidae des Laurentides (Québec)	355-368
LÉVESQUE, Gilles-Y. Voir Claire LÉVESQUE	355-368
LÉVESQUE, L. Voir M. I. EL-SABH	89-104
LLAMAS, José. Voir Yvon OUELLET	123-139
LOAN, C. C. Three new species of <i>Peristenus</i> Foerster from Canada and western Europe (Hymenoptera: Braconidae, Euphorinae)	387-391
LOAN, C. C. and N. J. HOLLIDAY. Euphorinae parasitic on ground beetles with descriptions of three new species of <i>Microctonus</i> Wesmael (Hymenoptera: Braconidae, and Coleoptera: Carabidae)	393-397
MAGNIN, Étienne. Voir Bernadette PINEL-ALLOUL	277-287
MAGNIN, Étienne et Anne-Marie CLÉMENT. Croissance et régime alimentaire des ménominis ronds <i>Prosopium cylindraceum</i> (Pallas) du territoire de la Baie James	377-386
MALTAIS, Patrick Marc et Emilia Annette OUELLETTE. <i>Diriofilaria scapiceps</i> (Leidy, 1886) from the snowshoe hare, <i>Lepus americanus struthopus</i> Bangs, in New Brunswick, Canada	561-562
MARTY, J. C. et A. CHOINIÈRE. Acides gras et hydrocarbures de l'écume marine et de la microcouche de surface	141-147
MASSAD, Rafat et Pierre BRUNEL. Associations par stations, densités et diversité des Polychètes du benthos circalittoral et bathyal de l'estuaire maritime du Saint-Laurent	229-253
MASSON, P. et L. PARROT. Polytrichales du Québec: descriptions et clés analytiques	511-533
MESSIEH, S. N., G. CÔTÉ et J. BOULVA. La pêche du hareng de Gaspé	255-271
MILLETTE, G. J. F. Voir R. G. LÉGER	369-376
MOUSSEAU, Pierre. Faune ichthyologique des eaux intérieures des îles de la Madeleine	471-479
MUIR, Langley R. Internal tides in the middle estuary of the St. Lawrence	27-36
MURTY, T. S. Voir F. AUBIN	37-44
MURTY, T. S. Voir M. I. EL-SABH	89-104
OUELLET, Yvon et Clifford TRUMP. La circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du Saint-Laurent	13-26
OUELLET, Yvon et José LLAMAS. Complément et analyse des hauteurs de vagues dans le golfe du Saint-Laurent	123-139
OUELLETTE, Emilia Annette. Voir Patrick Marc MALTAIS	561-562
PARROT, L. Voir P. MASSON	511-533
PERRON, J.-M. Voir M. LAFLAMME-LÉVESQUE	505-510
PILON, Jean-Guy. Voir Claire LÉVESQUE	355-368
PINEL-ALLOUL, Bernadette et Étienne MAGNIN. Étude de la nourriture de <i>Lymnaea catascopium catascopium</i> (Gastropoda, Lymnaeidae) dans le lac Saint-Louis, fleuve Saint-Laurent, Québec	277-287

PINEL-ALLOUL, Bernadette. Communautés zooplanctoniques d'un petit lac de la Radissonie	289-304
PLAMONDON, André P. Fréquence optimale des mesures hydrométéorologiques pour déceler l'effet du scarifiage du site	497-503
QADRI, S. U. Voir Marc-André BEAULIEU	547-553
ROBERT, Ginette. Benthic molluscan fauna of the St. Lawrence estuary and its ecology as assessed by numerical methods	211-227
ROMBOUGH, P. J. Voir S. E. BARBOUR	305-311
ST-HILAIRE, Daniel. Voir Michel CRÊTE	487-495
SCOTTER, George W. Voir William J. CODY	439-450
SEARS, Richard. An occurrence of <i>Eubalaena glacialis</i> on the North Shore of the Gulf of St. Lawrence	567-568
SILLANS, Daniel. Étude des mécanismes de l'anesthésie au CO ₂ chez <i>Bombyx mori</i> à l'aide des variations du rythme circulatoire	399-409
SIROIS, Luc. Premières mentions du <i>Mimulus moschatus</i> Dougl. pour l'est du Québec	399
SWAN, H. S. D. Voir J. D. GAGNON	341-343
TALBOT, Stephen S. Voir William J. CODY	439-450
TESSIER, Claude et Estelle LACOURSIÈRE. <i>Inula britannica</i> L., une nouvelle espèce pour le Québec	563-565
TREMBLAY, D. and G. J. FITZGERALD. Social organization as an anti-predator strategy in fish	411-413
TRUMP, Clifford. Voir Yvon OUELLET	13-26
WERREN, G. L. Voir G. HENDERSON	425-437
YEATS, P. A. Voir J. M. BEWERS	149-161

DIRECTIVES AUX AUTEURS

ORIENTATION DE LA REVUE

On peut soumettre au *Naturaliste canadien* des *articles inédits*, rédigés en français ou en anglais, découlant de travaux de recherche dans le domaine de l'écologie fondamentale et appliquée, de la taxonomie, de la morphologie ou des sciences de la terre. Tout manuscrit sera jugé en fonction de l'originalité des résultats et de l'interprétation. Les revues thématiques ne seront acceptées que si elles donnent lieu à d'importantes généralisations scientifiques. Des *articles courts* (maximum de quatre pages dans la revue) peuvent être acceptés comme "Communications brèves" s'ils découlent d'une recherche de qualité.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Les manuscrits, dactylographiés à double interligne sur le recto de feuilles de 21.5 X 28 cm, seront expédiés en trois exemplaires au Secrétaire de la rédaction.

Les éléments du manuscrit sont les suivants : (1) le titre ; (2) le nom de l'auteur ; (3) le nom et l'adresse de l'institution à laquelle appartient l'auteur ; (4) un titre courant d'un maximum de 60 lettres et espaces (sur une page séparée) ; (5) les résumés français et anglais (maximum de 300 mots) ; (6) le texte ; (7) sur des feuilles séparées, les tableaux (numérotés en chiffres romains), les légendes des figures (numérotées en chiffres arabes) et les références bibliographiques.

TEXTE

La Direction de la revue recommande le plan suivant : 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 infra-marginales devront être réduites à un strict minimum et numérotées consécutivement ; (3) pour les unités de mesure, on utilisera de préférence le système métrique, (4) on évitera les appendices, et d'ailleurs la Direction de la revue ne s'engage pas à en publier plus d'une page.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles seront indiquées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Dans la liste, à la fin du manuscrit, elles seront citées

par ordre alphabétique des noms d'auteurs, en s'inspirant des exemples suivants :

LEGENDTRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5) : 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In : D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Les titres des périodiques devront être abrégés suivant la "World List of Scientific Periodicals" (édition de 1963).

ILLUSTRATIONS

La Direction de la revue limite ses frais de clichage à deux clichés par manuscrit ; tous les clichés additionnels seront à la charge de l'auteur.

Les photographies devront être tirées sur papier glacé et fortement contrastées. On regroupera, 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 de photographies sont requises.

Les dessins doivent être faits à l'encre de Chine sur papier à dessin blanc. Le lettrage devra 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 x 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.

ÉPREUVES ET TIRAGES-À-PART

Les auteurs recevront une série d'épreuves, en même temps qu'un bon de commande pour les tirages-à-part. L'un et l'autre devront être retournés dans les plus brefs délais.

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

EDITORIAL POLICY

Original papers in French or in English based on research in basic and applied ecology, taxonomy, morphology and earth sciences will be considered for publication in this journal. The papers will be judged on the basis of their contribution of original data and ideas or interpretation. *Review articles* will not be accepted unless they lead to new and important generalizations. *Short articles* (no more than four pages in the journal) may be accepted as "Communications brèves". They should be distinguished from papers on the basis of scope rather than quality of the research.

GENERAL PRACTICES

Manuscripts should be typewritten in double spacing throughout on one side of bond paper 21.5 x 28 cm, and submitted in triplicate to the Secretary of the Editorial Board.

The sequence of material in the manuscript as submitted should be: (1) title; (2) author's name; (3) author's affiliation and address; (4) a condensed running head of no more than 60 letters and spaces (on a separate page); (5) French and English abstracts limited to 300 words; (6) the manuscript proper; (7) on separate pages references, tables (numbered consecutively in Roman numerals) and figure legends (numbered consecutively in Arabic numerals).

MANUSCRIPT DETAILS

The arrangement of the contents should generally be as follows: Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, and References.

In preparing copy please take account of the following remarks: (1) underscore only where italics are intended; (2) footnotes are to be avoided and wherever possible they should be consecutively numbered; (3) either metric or English units may be used; however use of the former is recommended; (4) appendixes should be avoided and will not be usually accepted if exceeding one page.

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:

LEGENDRE, L., 1971. Production primaire dans la Baie-des-Chaleurs (Golfe Saint-Laurent). *Naturaliste can.*, 98 (5) : 743-773.

MACARTHUR, R. H. and J. H. CONNELL, 1966. The biology of populations. John Wiley & Sons, New York, 200 p.

PARKER, P. L. and J. A. CALDER, 1970. Stable carbon isotope ratio variations in biological systems, p. 107-127. In: D. H. Hood (ed.), Symposium on organic matter in natural waters. University of Alaska, 625 p.

Abbreviations for periodicals should follow the "World List of Scientific Periodicals" (1963 edition).

ILLUSTRATIONS

The first two 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 card-board, and clearly numbered at the right corner of each photograph. Three complete sets of photographs must be included.

Drawings are 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 x 20 cm, inclusive of captions.

Captions for illustrations should be typed in paragraph form on a separate page. Moreover each illustration should be clearly labelled on back, giving the name of the author and the figure number.

PROOFS AND REPRINTS

Galley proofs will be sent to the author together with an order blank for reprints. The corrected proof with the order for reprints should be returned immediately.

Vente à prix réduit
de collections d'anciens volumes du
NATURALISTE CANADIEN

Les Presses de l'Université Laval sont dans l'obligation de libérer leurs entrepôts de certains surplus de revues. La direction du *Naturaliste canadien* met donc en vente, à prix réduits, des collections d'anciens volumes de la revue, durant une courte période, au tarif suivant:

Volume 60 (1933) à 92 (1965), \$8.00 le volume.

Volume 93 (1966) à 104 (1977), \$10.00 le volume.

Le volume 101 (1974) est épuisé.

Trois collections d'anciens numéros de 1868 à 1891 (volumes 1 à 20), de la période de Provancher, et de 1894 à 1932 (volumes 21 à 59), de la période de Huard, sont disponibles. Prix sur demande.

Secrétariat de la rédaction
« Le Naturaliste canadien »
Université Laval
Québec. G1K 7P4

LE NATURALISTE CANADIEN

Volume 106

Septembre-décembre 1979

Numéros 5-6

SOMMAIRE

CRÊTE, M. et D. ST-HILAIRE. L'hélicoptère et l'avion pour dénombrer les originaux dans le sud-ouest du Québec	487-495
PLAMONDON, A. P. Fréquence optimale des mesures hydrométéorologiques pour déceler l'effet du scarifiage du site	497-503
LAFLAMME-LÉVESQUE, M., J. M. PERRON et L. JOBIN. Étude des lichens appartenant aux genres <i>Bryoria</i> , <i>Alectoria</i> et <i>Ramalina</i> dans les foyers d'infestation de <i>Lambdina fiscellaria fiscellaria</i> (Guén.) à l'île d'Anticosti	505-510
MASSON, P. et L. PARROT. Polytrichales du Québec: descriptions et clés analytiques	511-533
GIROUX, M. Effets d'un apport d'azote sur les rendements et le contenu en azote total de la luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.)	535-538
CARTER, J. C. H. Zooplankton of the lower Matamek River, Québec	539-546
BEAULIEU, M.-A., S. U. QADRI and J. M. HANSON. Age, growth, and food habits of the pumpkinseed sunfish, <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus), in Lac Vert, Québec	547-553
LAMBERT, Y. and G. J. FITZGERALD. Summer food and movements of the Atlantic tomcod <i>Microgadus tomcod</i> (Walbaum) in a small tidal creed	555-559
COMMUNICATIONS BRÈVES:	
MALTAIS, P. M. and E. A. OUELLETTE. <i>Dirofilaria scapiceps</i> (Leidy, 1886) from the snowshoe hare, <i>Lepus americanus struthopus</i> Bangs, in New Brunswick, Canada	561-562
TESSIER, C. et E. LACOURSIÈRE. <i>Inula britannica</i> L. (Compositae), une nouvelle espèce pour le Québec	563-565
SEARS, R. An occurrence of right whales (<i>Eubalaena glacialis</i>) on the north shore of the Gulf of St. Lawrence	567-568
REVUE DES LIVRES	569-574
SOMMAIRE GÉNÉRAL DU VOLUME 106	I-III
INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS AVEC TITRES	V-VIII