

# le naturaliste canadien

Volume 138, numéro 1  
Hiver 2014

LA SOCIÉTÉ PROVANCHER  
D'HISTOIRE NATURELLE  
DU CANADA

Revue de diffusion des connaissances en sciences naturelles et en environnement



## **Au sommaire**

- *PLANTES INDICATRICES D'ÉCHANGE D'EAU DES TOURBIÈRES AVEC LE SOUS-SOL*
- *MARAIS VOISINS DES ROUTES ET ROSEAU COMMUN*
- *UNE LIBELLULE MIGRATRICE*
- *ROUTES DE RECOLONISATION DE 2 PINS AMÉRICAINS APRÈS LA GLACIATION*
- *FLORE ET PAYSAGES DE NOUVELLE-FRANCE*

## LE MOT RÉDACTEUR EN CHEF

**De bonnes raisons de publier dans nos pages** 2  
*Michel Crête*

## GENS D'ACTION

**Pierre M. Valiquette, Robin des bois,  
des marais et des marécages** 3  
*Jean Lauzon, Michel Aubé et Caroline Cormier*

## BOTANIQUE

**Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau  
entre tourbière et aquifère** 4  
Sous nos latitudes, les tourbières jouent un rôle majeur dans la dynamique de l'eau. Toutefois, il demeure fastidieux de connaître les zones d'échange d'eau entre l'aquifère et les tourbières. Une piste possible pour aider les prises de décision quant à la gestion de ces milieux fragiles : des plantes indicatrices de tels échanges.

*Julie L. Munger, Stéphanie Pellerin,  
Marie Larocque et Miryane Ferlatte*

**Est-ce que le roseau commun exotique envahit les  
marais adjacents aux routes ?** 13  
En plus d'envahir les bordures d'autoroutes, le roseau commun se rencontre maintenant dans des marais, voire sur les berges de certains lacs. Menace-t-il d'envahir les marais encore vierges situés près des autoroutes ? La réponse semble mi-figue, mi-raisin.

*Benjamin Lelong et Claude Lavoie*

## ENTOMOLOGIE

**L'anax précoce au Québec :  
une libellule migratrice** 20  
Comme le papillon monarque, l'anax précoce effectue des migrations, le Québec représentant la limite nordique de son aire de répartition. La synthèse des connaissances acquises sur cette espèce au fil des ans par les observateurs québécois révèle que l'espèce peut occasionnellement y compléter son cycle vital.

*Michel Savard*

## FORESTERIE

**Les génomes du pin gris et du pin tordu, témoins  
des bouleversements climatiques passés** 32  
En utilisant des marqueurs génétiques, il a été possible de localiser plusieurs refuges où ces 2 pins, l'un de l'est et l'autre de l'ouest du continent, ont vraisemblablement retraité durant la dernière glaciation, et de retracer les routes empruntées lors de la fonte de l'inlandsis pour recoloniser les vastes territoires dorénavant libres de glace.

*Julie Godbout et Jean Bousquet*

## HISTOIRE

**Perceptions environnementales et description  
du paysage de la Nouvelle-France aux XVII<sup>e</sup>  
et XVIII<sup>e</sup> siècles** 45  
L'analyse de documents d'archives, de récits historiques et d'interprétations d'historiens et de chercheurs permet de dresser un portrait des paysages de la vallée du Saint-Laurent, et plus particulièrement de ceux de la région de Québec durant le régime français et des changements progressifs provoqués par la colonisation du territoire.

*Lydia Querrec, Réginald Auger et Louise Filion*

## MILIEUX AQUATIQUES

**Aménagement et suivi de l'efficacité d'une passe  
migratoire pour l'omble chevalier et le touladi à  
l'exutoire du lac du Bombardier, Nunavik** 56  
Le potentiel minier du nord du Québec attire l'attention de l'industrie. L'exploitation des ressources naturelles doit cependant y respecter l'environnement, très sensible à ces hautes latitudes. Voici un exemple d'aménagement pour permettre aux poissons de circuler librement entre une rivière et un lac rehaussé servant de source d'eau à un site minier.

*Patrick Charbonneau, Étienne Cormier,  
Richard Brunet et Gail Amyot*

## HOMMAGE

**Hommage à John Roger Bider (1932-2013)** 69  
*Rodger D. Titman, G. Jean Doucet et Gregory Weil*

## LES LIVRES

70

## VIE DE LA SOCIÉTÉ

72

## SAVIEZ-VOUS QUE...

74

**En page couverture :** Sarracénies pourpres (*Sarracenia purpurea* subsp. *purpurea*) dans une tourbière du Québec.

Photo : Julie L. Munger

**La Société Provancher remercie  
ses généreux bienfaiteurs  
Parrains du *Naturaliste canadien***

Fondation de la Faune du Québec

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

**Amis du *Naturaliste canadien***

Beaudoin, Marjolaine • Bélanger, Roger • Belles-Isles, Michel • Bertrand, Luce • Billington, Charles • Bouchard, Yvon • Boudreau, Francis • Boulva, Jean • Brisson, Jean Denis • Brunelle, Pierre • Castonguay, Gérard • Cayouette, Jacques • Charpentier, Yvan • Chartier, Richard • Clermont, André • Cloutier, Conrad • Cormier, Caroline • Corriveau, Lina • Couture, Pierre • Couture, Richard • Crête, Michel • Dagenais, Michel • Desautels, Louise • Desautels, Renée • Desbiens, Jean-Yves • De Serres, Marthe • Dionne, Jean-Claude • Drolet, Bruno • Duchesneau, Roger • Duclos, Isabelle • Dumas, Guy • Fortier, Gill • Fortin, Jean • Gaboury, Gilles • Gagnon, François • Gascon, Pierre • Gélinas, Daniel • Giguère, Jean-Roch • Hamann, Jean • Hamel, François • Hamel, Pascale • Hébert, Christian • Huot, Lucien • Juneau, Michel • Lacasse, Yves • Laflamme, Michel K. • Lafond, André • Lanneville, Jean-Louis • Lepage, Michel • Lépine, Rachel • Loïselle, Robert • Marineau, Kim • Moisan, Gaston • Monette, Maurice • Painchaud, Jean • Paquette, Denis • Paré, Bruno • Parent, Serge • Pelletier, Nathalie • Perron, Jean-Marie • Piuze, Jean • Potvin, Denis • Potvin, François • Pouliot, Yvan • Rainville, Pierre • Reed, Austin • Richard, Pierre J.H. • Riendeau, Lucie • Sabourin, André • Savard, Vincent • Shaw, Michel • Tessier, Pierre • Trépanier, Claudette • Turcotte, Marie-France • Varin, Michel • Villemagne, Claude • Villeneuve, Claude • Villeneuve, Jacques • Watelet, Anne •

**Bienfaiteurs de la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada**

Ahern Normandeau, Marguerite • Asselin, Jacinta P. • Auger, Esther • Auger, Geneviève • Auger, Réginald • Barrière, Serge • Beaudet, Thérèse • Beaudoin, Marjolaine • Bédard, Michelle • Bédard, Yvan • Bélanger, Claire • Bélanger, Marie-Pierre • Bélanger, Michelle • Bélanger, Raymond • Bélanger, Roger • Bellefeuille, Hélène • Bellefeuille, Lucie • Belles-Isles, Michel • Belzile, Patrick • Benoît, Suzanne • Bergeron, Jean • Bernatchez, Marcel • Berteaux, Dominique • Bertrand, Claude • Bertrand, Roger • Biron, Paule • Blondin, Hélène • Bolduc, Bibiane • Bouffard, Sylvie • Brisson, Jean Denis • Brousseau, Yves • Campagna, Pierre • Cantin, Michel • Caron, Jean-Claude • Caron, Rémi • Castonguay, Martin • Charpentier, Yvan • Chayer, Réjean • Clermont, André • Cliche, Mario • Colinet, Bernard • Corbeil, Christian • Côté, Josianne • Coulombe, Josette • Delisle, Conrad • Demers, Jacques • Desbiens, Jean-Yves • De Serres, Marthe • Demers, Andréanne • Déry, Anne • Desbiens, Jean-Yves • Desautels, Louise • Desmartis, Micheline • Doré, Marc • Drolet, Bruno • Drolet, Donald • Duchesneau, Roger • Dufresne, Camille • Dumas, Gilbert • Dutil, Jean-Denis • Fontaine, Pierre • Fortin, J. André • Gaboury, Gilles • Gagné, Chantal • Gagné, François • Gagnon, François • Garon, Paule • Gascon, Pierre • Giroux, Michel • Goyer, Suzie • Grimard, Michèle • Grondin, Suzanne • Hamel, François • Hamel, Pascale • Harvey, Éric-Yves • Henry, Lise • Houde, Normand • Hrycak, Maurice J. • Huot, Jean • Jalbert, Mélanie • Jean, Normand • Jones, Richard • Journault, Jacques • Juneau, Michel • Laflamme, Michel K. • Lacasse, Yves • Lafond, Anne-Marie • Lafond, Louise • Lamoureux, Stéphane • Lane, Peter • Langlois, Gaétan • Lapointe, Laurier • Lapointe, Monique • Laporte, Marie-Hélène • Lauzon, Micheline • Leduc, Pierre • Lemieux, Jacques • Lepage, Claudine • Lepage, Daniel • Lepage, Ronald • Léveillé, Danielle • Levesque, Annie • Levesque, Hélène • Levesque, Madeleine • Lortie Aubé, Dianne • Marcoux, Pierre • Marier, Louise • Marquis, Denise • Massicotte, Guy • Messely, Louis • Michaud, Isabelle • Michaud, Julie-Mélanie • Michaud, Nathalie • Molinas, Laurence • Monette, Maurice • Morin, Jean • Nadeau, Yves • Ouellet, Denis • Ouellet, Réginald • Patenaude, Robert • Picard, Jean-Guy • Pilote, Lise • Piuze, Jean • Potvin, Denis • Potvin, Laurent • Potvin, Paule • Proulx, André • Rainville, Pierre • Rasmussen, Arne • Raymond, Martine • Reed, Austin • Renaud, Michel • Rheault, Claude • Riendeau, Lucie • Roberge, Charlotte • Roberge, Jacques • Roberge, Nicole • Robert, Michèle • Rousseau, Éric • Roy, Clodin • Roy, Odette • Shaw, Michel • Simard, Annie • Tanguay, Suzanne • Tessier, Pierre • Trépanier, Claudette • Turcotte, Marie-France • Viel, Georges • Villeneuve, Georges • Wapler, Michel •



LA SOCIÉTÉ  
PROVANCHER  
D'HISTOIRE  
NATURELLE  
DU CANADA

**Président**

Gilles Gaboury

**1<sup>er</sup> Vice-président**

Éric Yves Harvey

**2<sup>e</sup> Vice-président**

Louise Fortin

**Secrétaire**

Michel Lepage

**Trésorière**

Hélène Beaulieu

**Administrateurs**

Élisabeth Bossert  
Jean-Claude Caron  
Pierre-Martin Marotte  
Réginald Ouellet  
Robert Patenaude  
Odette Roy  
André St-Hilaire

le *naturaliste*  
canadien

Comité de rédaction

Michel Crête,  
rédacteur en chef

Bruno Drolet  
Jean Hamann  
Christian Hébert  
Claude Lavoie  
Michel Lepage  
Jean Painchaud  
Denise Tousignant  
Junior Tremblay

Révision linguistique

Hélène Savard  
Andrew Coughlan

Correction des épreuves

Camille Rousseau

Comité de financement

Éric Yves Harvey  
Michel Lepage

Impression et reliure

Marquis Imprimeur, Inc.



Communications  
Science-Impact  
930, rue Pouliot  
Québec (Québec)  
G1V 3N9  
418.651.3885

Le *Naturaliste canadien* est recensé par Repères, Cambridge Scientific Abstracts et Zoological Records. La version numérique est disponible sur la plateforme Érudit.

Dépôt légal 1<sup>er</sup> trimestre 2014

Bibliothèque nationale du Québec

© La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada 2014

Bibliothèque nationale du Canada

ISSN 0028-0798 (Imprimé)

ISSN 1929-3208 (En ligne)

Imprimé sur du papier  
100% recyclé



Fondée en 1868 par Léon Provancher, la revue *Le Naturaliste canadien* est devenue en 1994 la publication officielle de la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, après que le titre ait été cédé à celle-ci par l'Université Laval.

Fondée en 1919, la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada est un organisme sans but lucratif dont la mission est de contribuer à la conservation de la nature. Ses principaux axes d'intervention sont la protection et la gestion de milieux naturels, l'éducation et la diffusion des connaissances dans le domaine des sciences naturelles.

Comme publication officielle de la Société Provancher, *Le Naturaliste canadien* entend donner une information de caractère scientifique et pratique, accessible à un large public, sur les sciences naturelles, l'environnement et la conservation.

La reproduction totale ou partielle des articles de la revue *Le Naturaliste canadien* est autorisée à la condition d'en mentionner la source. Les auteurs sont seuls responsables de leurs textes.

Les personnes ou les organismes qui désirent recevoir la revue peuvent devenir membres de la Société Provancher ou souscrire un abonnement auprès de EBSCO. Tél. : 1-800-361-7322.

Publication semestrielle

Toute correspondance doit être adressée à :

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

1400, route de l'Aéroport

Québec QC G2G 1G6

Téléphone : 418-554-8636 Télécopie : 418-831-8744

Courriel : [societe.provancher@gmail.com](mailto:societe.provancher@gmail.com)

Site Web : [www.provancher.qc.ca](http://www.provancher.qc.ca)



## De bonnes raisons de publier dans nos pages

Le *Naturaliste canadien* publie, en français, des articles originaux concernant des observations de naturalistes, des résultats d'inventaire ou de travaux de recherche. Les articles peuvent aussi prendre la forme d'une revue de littérature ou d'une réflexion sur un thème relatif aux sciences naturelles ou à l'environnement. Plusieurs de nos auteurs viennent des milieux gouvernementaux et universitaires, alors que d'autres œuvrent au sein de firmes de consultants ou sont des naturalistes chevronnés. En cette époque où les tribunes abondent, notre revue offre plusieurs avantages uniques aux contributeurs qui publient dans ses pages.

Sans conteste, la diffusion d'une information de qualité vient en tête de liste. La révision des manuscrits par les pairs offre l'occasion aux auteurs de les améliorer et assure la rigueur scientifique du contenu. Bien qu'il puisse paraître exigeant, surtout pour des auteurs plus novices, ce travail constructif profite tant aux auteurs qu'aux lecteurs.

Par ailleurs, la portée de notre revue s'est accrue grandement depuis que notre version électronique est diffusée à partir de la plate-forme Érudit : toutes les universités québécoises et canadiennes y sont abonnées, sans compter un grand nombre d'établissements français, voire quelques institutions américaines de prestige, et la majorité des collègues québécois. De plus, les moteurs de recherche, qui répertorient nos articles, attirent des internautes de plusieurs pays. Pour capter l'intérêt de ce lectorat international, nos articles comporteront désormais un résumé en anglais ; ainsi, les visiteurs allophones auront une meilleure idée du contenu de nos articles et pourront s'y attarder davantage.

La publication dans nos pages comporte aussi des avantages sociaux et politiques. Comme notre revue s'adresse tout particulièrement aux francophones du Québec et du Canada, elle fournit notamment aux scientifiques gouvernementaux et universitaires qui utilisent nos pages, l'occasion de rendre des comptes, dans leur langue, aux gens qui soutiennent en premier lieu leur travail et leurs travaux de recherche.

De façon générale, la vitalité d'une langue dépend de son utilisation dans toutes les sphères d'activité, y compris dans le domaine scientifique. Cela est d'autant plus vrai maintenant que la technologie évolue rapidement et que le vocabulaire d'une langue doit pouvoir décrire ces nouvelles réalités. Le Québec a toujours constitué un terreau fertile pour faire évoluer le français et notre revue est fière d'y contribuer de son mieux.

Depuis quelque temps, les soumissions d'articles à notre revue se sont faites moins nombreuses : s'agit-il d'une tendance lourde ou d'un phénomène passager ? Le comité de rédaction n'a pas attendu des certitudes avant de passer à l'action et il a pris quelques initiatives pour s'assurer de la contribution de nombreux auteurs. Il a notamment décidé que la revue publiera, à l'occasion, des numéros réguliers thématiques pour lesquels un ou quelques rédacteurs *ad hoc* prendront la responsabilité de rassembler des auteurs autour d'un thème. Ces numéros se distingueront de ceux hors série, dont le commanditaire défraie les coûts de publications, et qui s'ajoutent à nos numéros réguliers. Ainsi, nous publierons un numéro thématique sur les oiseaux de proie en décembre 2014. La fréquence de parution des numéros thématiques dépendra du rythme de réception des manuscrits réguliers, mais pour l'heure, nous envisageons une telle publication à tous les 2 ans environ.

Le monde de la diffusion scientifique, tout comme celui des communications, vit des bouleversements rapides. Le comité de rédaction du *Naturaliste canadien* en est bien conscient et tente de s'y adapter rapidement. La survie d'une revue comme la nôtre dépend tout autant de son contenu et de ses contributeurs que de ses lecteurs. Nous demeurons très confiants et déterminés à poursuivre l'œuvre lancée par Léon Provancher en 1868.

Michel Crête  
 rédacteur en chef

# Pierre M. Valiquette, Robin des bois, des marais et des marécages

Jean Lauzon, Michel Aubé et Caroline Cormier

Pierre M. Valiquette, diplômé depuis 1976 d'un baccalauréat en architecture du paysage, a entamé un doctorat à l'Université du Québec sur la conservation par le milieu communautaire. C'est alors qu'il a développé un concept d'intervenants au profil bleu, brun ou vert? Le saviez-vous?

Canoteur et amant de la nature, son parcours et sa passion l'ont amené à s'impliquer dans la protection des milieux naturels partout au Québec. Bois Papineau, Île des Sœurs, Parc des Falaises, Société de verdissement de Montréal et Route Bleue des voyageurs, rien ne l'arrête!

Il a été conseiller principal, synthétiseur de grandes idées, motivateur, pédagogue, stratège, psychologue et ami du Parc de la Rivière-des-Mille-Îles de 1991 à aujourd'hui. Il y a négocié des ententes avec les municipalités et participé à la recherche de financement et au développement de l'organisme et du refuge faunique.

Hommage à Valiquette par Michel Aubé, cofondateur du Parc de la Rivière-des-Mille-Îles:

*À travers la grisaille du discours standard du «Sauvons la planète et l'humanité», émerge trop rarement une lumière. Pierre Valiquette est de ces esprits lumineux qui jettent un éclairage nouveau et judicieux.*

*J'ai eu le bonheur de côtoyer l'homme sympathique et généreux, d'interagir avec cette intelligence vive qui bouscule les lieux communs.*

*Mais attention, sous cet homme de lettres qui manie les concepts avec aisance se cache un véritable homme d'action dont les plans brillamment conçus sont toujours pertinents et poussent à l'action. Impliqué dans plusieurs causes, autant sur le terrain qu'au niveau du conseil, Valiquette communique à ses proches une énergie qui motive et rassure.*

*Son œuvre est difficile à saisir. Il a planté et fait germer des initiatives un peu partout au Québec et même ailleurs dans le monde, en s'acharnant souvent sur des causes désespérées.*

*Il est, selon moi, l'un des plus grands contributeurs à la protection de la nature et du patrimoine en général au Québec, mais surtout, sur le plan humain, un véritable rayon de soleil pour sa communauté.*

Depuis 2001, il œuvre comme trésorier au Centre québécois du droit de l'environnement et a siégé pendant 12 ans tour à tour comme secrétaire, trésorier et vice-président du Réseau de milieux naturels protégés.



Jean Lauzon

Son héritage est important: développement du Guide des bonnes pratiques en intendance privée; élaboration des Ateliers sur la conservation des milieux naturels; partie prenante du Répertoire de milieux naturels protégés par le milieu non gouvernemental; programme de suivi de la biodiversité avec la Société Provancher d'histoire naturelle; déploiement national du programme Patrimoine vert ou *Give Green Canada*. Il a également contribué au démarrage de l'Alliance canadienne des organismes de conservation (ADOCC). Sa vaste expérience a favorisé l'émergence de nouveaux groupes comme Bois de Douze et Éco-Corridors Laurentiens.

Robin des bois, Valiquette laissera au Québec un grand legs de milieux naturels protégés grâce à ses chevauchées enflammées auprès des communautés, des villages et des villes, laissant derrière lui une nature luxuriante et des gens heureux. Nous te levons notre chapeau, Pierre, parmi les Gens d'action, tu en mérites amplement le titre!

*Jean Lauzon et Michel Aubé sont co-fondateurs de l'organisme Éco-Nature et du Parc de la Rivière-des-Mille-Îles. Caroline Cormier est présidente du Réseau de milieux naturels protégés.*

# Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau entre tourbière et aquifère

Julie L. Munger, Stéphanie Pellerin, Marie Larocque et Miryane Ferlatte

## Résumé

Les tourbières jouent plusieurs rôles dans l'hydrologie de surface. Les liens hydrologiques entre les tourbières et les eaux souterraines (aquifères) demeurent toutefois peu connus, ce qui rend les zones d'interaction difficiles à identifier. Ce projet avait pour but d'identifier des espèces et des associations d'espèces floristiques indicatrices de zones d'échanges tourbière-aquifère. Ainsi, des suivis piézométriques et des inventaires floristiques ont été réalisés dans 9 tourbières situées dans le Centre-du-Québec et en Abitibi-Témiscamingue. Les échanges tourbière-aquifère ont été identifiés à l'aide de gradients de charges hydrauliques et les espèces indicatrices à l'aide de l'indice de valeur indicatrice INDVAL. Cette méthode a entre autres permis d'identifier 2 espèces (*Carex limosa* et *Sphagnum russowii*) et 4 associations d'espèces indicatrices d'un apport en eau souterraine à la tourbière. Les espèces indicatrices pourraient devenir un outil utile, rapide et peu coûteux pour prédire les zones d'interactions tourbière-aquifère et ainsi faciliter la tâche des gestionnaires du territoire.

MOTS CLÉS: Abitibi-Témiscamingue, Centre-du-Québec, eaux souterraines, plantes, tourbières

## Abstract

Peatlands play numerous roles in surface hydrology. However, the hydrological links between peatlands and groundwater (aquifers) remain poorly understood, making it difficult to identify areas of interaction. This project aimed to identify plant species and plant species combinations that could serve as indicators of water exchange between peatlands and aquifers. Piezometric and floristic inventories were conducted in 9 peatlands located in the Centre-du-Québec and Abitibi-Témiscamingue regions (Québec). Water exchange between peatlands and aquifers was identified using hydraulic loads, and indicator species were identified using the IndVal index. The study identified 2 indicator species (*Carex limosa* and *Sphagnum russowii*) and 4 species combinations that could be used as indicators of a contribution of groundwater to a given peatland. These indicator species and species groups potentially offer a rapid and inexpensive tool for predicting areas of interactions between peatlands and aquifers.

KEYWORDS: Abitibi-Témiscamingue, Centre-du-Québec, peatlands, plants, underground water

## Introduction

Les tourbières sont des milieux humides caractérisés par un sol mal drainé où la matière organique (tourbe) s'accumule plus qu'elle ne se décompose. L'épaisseur du dépôt organique nécessaire pour qualifier un site de tourbière est variable selon les administrations mais en général, la présence d'un dépôt de tourbe de 30 à 40 cm est nécessaire (Wells et Zoltai, 1985; Pakarinen, 1995). Au Québec, les tourbières couvrent environ 161 000 km<sup>2</sup>, ce qui représente approximativement 85% de la superficie de tous les milieux humides de la province (L. Rochefort et collab., non publié). Elles se concentrent majoritairement en zone boréale où les conditions climatiques et environnementales sont les plus favorables à leur développement (Payette, 2001). Bien que la vaste majorité des tourbières du Québec soient encore à l'état naturel, celles qui sont situées plus au sud, notamment dans les basses-terres du Saint-Laurent, font face à de nombreuses pressions liées à l'étalement urbain et au développement des industries horticoles, agricoles et forestières (Poulin et collab., 2004). Dans certaines régions, les superficies de tourbières perturbées peuvent atteindre plus de 60% (Pellerin, 2003).

Les tourbières remplissent plusieurs fonctions écologiques dans l'environnement, notamment en ce qui a trait

à la préservation de la biodiversité régionale et à la régulation du climat (Gorham, 1991; Charman 2002). Elles jouent également plusieurs rôles dans l'hydrologie régionale. Par exemple, elles constituent des réserves d'eau douce significatives, assurent une certaine régularisation des débits ou encore permettent d'améliorer la qualité de l'eau (Joosten et Clarke 2002; Moore, 2002; Price et collab., 2005). Le rôle des tourbières et des milieux humides en général dans le contrôle des débits des rivières est assez bien connu (Price et collab., 2005). Toutefois, les liens hydrologiques entre les tourbières et les aquifères (c'est-à-dire toute formation géologique suffisamment poreuse pour contenir de l'eau et suffisamment perméable pour en permettre

Julie L. Munger est étudiante à la maîtrise au Département de Sciences biologiques de l'Université de Montréal où elle est dirigée par Stéphanie Pellerin, professeure associée et biogéographe.

*munger.jl@gmail.com*  
*stephanie.pellerin.1@umontreal.ca*

Miryane Ferlatte est étudiante à la maîtrise au Département de Sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal où elle est dirigée par Marie Larocque, professeure et hydrogéologue.

*miryanef@gmail.com*  
*larocque.marie@uqam.ca*

l'écoulement) commencent tout juste à être étudiés. Des études récentes ont en effet montré que les tourbières peuvent être connectées aux aquifères, malgré la faible conductivité hydraulique de la tourbe (p. ex. : Devito et collab., 1997; Bleuten et collab., 2006; Waddington et Quinton, 2009).

Les échanges entre tourbières et aquifères peuvent s'effectuer par des écoulements latéraux en bordure des dépôts organiques ou par des flux verticaux à la base de la tourbière (Bleuten et collab., 2006). Ces flux sont fortement influencés par les conditions climatiques et peuvent s'inverser au cours d'une année (Devito et collab., 1997). Par exemple, dans une tourbière alimentée latéralement par un aquifère superficiel, une période de sécheresse peut entraîner la baisse du niveau de la nappe dans l'aquifère et ainsi engendrer un écoulement de la tourbière vers l'aquifère. Inversement, la perte d'eau causée par l'évapotranspiration en période sèche peut stimuler une remontée verticale d'eau souterraine vers la surface de la tourbière (Devito et collab., 1997). Considérant l'importante superficie qu'occupent les tourbières au Québec, il semble essentiel d'approfondir notre compréhension des échanges tourbière-aquifère et de déterminer des indicateurs de ces échanges. Ces connaissances permettront d'élaborer une gestion plus éclairée des milieux humides et des ressources en eau.

La notion d'espèce indicatrice est utilisée depuis plus de 60 ans en écologie des milieux humides (p. ex. : Sjors, 1950; Goslee et collab., 1997). Par exemple, les tourbières ont longtemps été classées selon un gradient d'ombrotrophie-minérotrophie, en fonction de la présence ou non d'espèces indicatrices de conditions minérotrophes (Wheeler et Proctor, 2000; Campbell et Rochefort, 2001). Ainsi, les tourbières riches en éléments nutritifs, aussi appelées tourbières minérotrophes ou fens, sont caractérisées par l'abondance d'espèces minérotrophes (par exemple, pour le Québec, *Campyllum stellatum*, *Sphagnum warnstorffii*, *Eriophorum angustifolium*, *Carex exilis*), tandis que les tourbières pauvres ou ombrotrophes (aussi appelées bogs) se caractérisent par l'absence de ces espèces. Cette classification binomiale, bien que circulaire et beaucoup plus complexe en réalité, a été en partie confirmée par plusieurs études mettant en relation la composition floristique des sites et les conditions chimiques

locales de l'eau ou de la tourbe de surface (p. ex. : Vitt et Chee 1990; Marini et collab., 2008). Cette approche traditionnelle ne permet toutefois pas de faire des liens directs entre la présence d'espèces végétales et l'apport en eau souterraine, ces liens étant indirects, et par l'entremise de la chimie de l'eau ou de la tourbe. Dans ce contexte, l'objectif de ce projet était de tester la possibilité d'identifier des espèces floristiques indicatrices des échanges tourbière-aquifère en utilisant seulement des variables hydrogéologiques.

### Secteurs d'étude

Les tourbières échantillonnées se situent dans les bassins versants des rivières Bécancour (Centre-du-Québec) et Harricana (Abitibi-Témiscamingue) (figure 1). Ces 2 bassins versants ont été sélectionnés afin de couvrir une diversité de conditions topo-géologiques et bioclimatiques et ainsi s'assurer que les espèces indicatrices identifiées pourraient être utilisées dans la plupart des tourbières du Québec méridional. Toutefois, malgré ces différences contextuelles, il est important de noter que les tourbières des 2 régions sont situées dans la grande zone des tourbières ombrotrophes semi-forestières (Payette, 2001).

#### **Zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour (Centre-du-Québec)**

La zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour constitue la majeure partie du bassin versant de la rivière Bécancour et est située dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul (Grandtner, 1966; Saucier et collab., 2003). Le climat y est de type continental tempéré sub-humide avec une température annuelle moyenne de 4,7°C et des précipitations annuelles moyennes de 1085 mm, dont 42% tombent sous forme de neige (Environnement Canada, 2013). La saison de croissance varie de 191 à 199 jours (Atlas agroclimatique du Québec, 2012).

Les tourbières présentes dans ce bassin versant (ou plus précisément de la zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour) couvrent une superficie de 175 km<sup>2</sup>, soit environ 6% du secteur (Avard et collab., 2013). Elles se trouvent principalement à la jonction entre les Appalaches et le

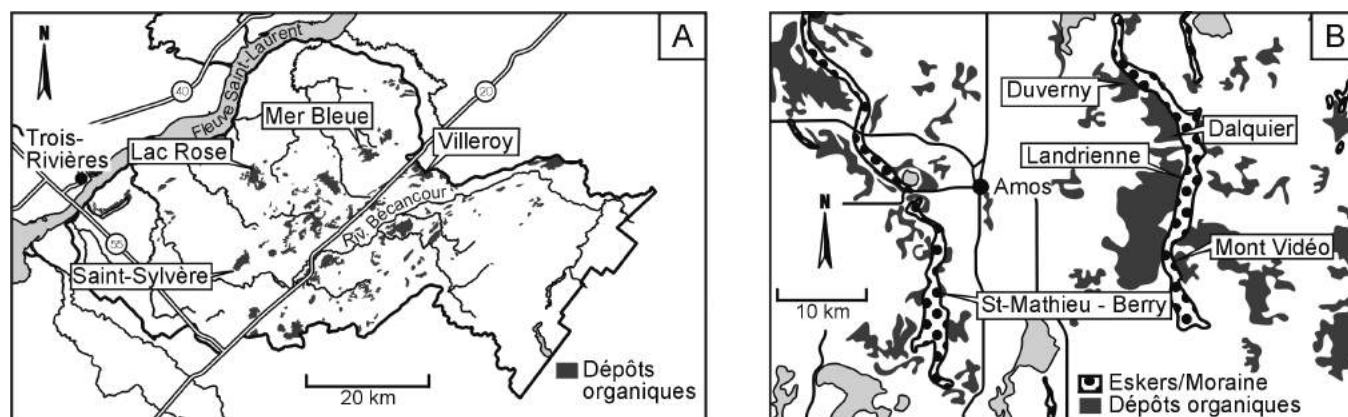


Figure 1. Localisation des secteurs d'étude et des tourbières échantillonnées dans la zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour (Centre-du-Québec) (A) et dans le bassin versant de la rivière Harricana, région d'Amos (Abitibi-Témiscamingue) (B).

plateau des basses-terres du Saint-Laurent, à une altitude de 80 à 130 m. Elles reposent essentiellement sur des dépôts éoliens ou sur du till remanié, mais nous les trouvons également sur des dépôts littoraux, du till mince sur roc ou des argiles marines (Avard et collab., 2013). Elles se sont mises en place à partir du début de l'Holocène, soit peu après la dernière grande glaciation et le retrait de la mer de Champlain (Ferlatte, 2013; Lavoie et Colpron-Tremblay, 2013). Les tourbières du secteur sont soumises à de fortes pressions anthropiques. En effet, une superficie de tourbières équivalant à près de 54 km<sup>2</sup> aurait disparu depuis 1966 alors que 30 % des superficies restantes seraient affectées par diverses activités humaines, notamment le drainage forestier (Avard et collab., 2013).

### **Bassin versant de la rivière Harricana (Abitibi-Témiscamingue)**

Le bassin versant de la rivière Harricana est situé dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc (Grandtner, 1966; Saucier et collab., 2003). Dans le secteur de la ville d'Amos, où a eu lieu la présente étude, le climat y est de type continental tempéré froid et relativement humide avec une température annuelle moyenne de 1,5 °C et des précipitations moyennes annuelles de 918 mm, dont 54 % tombent sous forme de neige (Environnement Canada, 2013). La saison de croissance varie de 175 à 182 jours (Atlas agroclimatique du Québec, 2012).

Les milieux humides situés dans la portion québécoise du bassin versant de la rivière Harricana couvrent une superficie de 12 799 km<sup>2</sup>, soit environ 45 % de la superficie du bassin versant (S. Pellerin, données non publiées). Les tourbières sont connectées de manière hydraulique aux eskers et à la moraine Harricana (Riverin, 2006; Winter et collab., 2008; Rossi et collab., 2012; Smerdon et collab., 2012). Elles se sont mises en place entre 8 600 et 4 000 ans avant le présent (Ferlatte, 2013), soit après le drainage du lac proglaciaire Barlow-Ojibway. Cet événement a laissé de vastes étendues d'argiles glaciolacustres imperméables qui ont favorisé la formation des tourbières. Contrairement aux tourbières de la région de Bécancour, celles du bassin versant de la rivière Harricana sont peu touchées par les perturbations anthropiques. Néanmoins, l'exploitation des eskers comme source d'eau potable souterraine et d'agrégats (roches, gravier, sable) pourrait influencer sur les niveaux d'eau dans l'aquifère superficiel et ainsi perturber l'hydrologie des tourbières (Rossi et collab., 2012; Smerdon et collab., 2012).

## **Méthodes**

### **Instrumentation et mesures des charges hydrauliques**

Quatre tourbières ont été sélectionnées dans le Centre-du-Québec (Saint-Sylvere, Mer Bleue, Lac Rose et Villeroy) et 5 en Abitibi-Témiscamingue (Duverny, Dalquier, Landrienne, Mont Vidéo et Saint-Mathieu-de-Berry) (figure 1). Les tourbières choisies devaient être exemptes de perturbations anthropiques visibles et faciles d'accès.

Un ou 2 transects d'échantillonnage allant de la bordure vers le centre ont été établis dans chaque tourbière, pour un total de 6 transects par région (figure 2). Six stations d'analyse ont été positionnées sur chaque transect à l'exception d'un des transects de la tourbière de Villeroy (5 stations), pour un total de 36 stations en Abitibi et 35 à Bécancour. Plus spécifiquement, la station n° 1 a été positionnée dans les dépôts minéraux à environ 10 m du début des dépôts organiques, alors que la station n° 2 a été installée dès qu'un dépôt organique de 40 cm était mesuré (figure 2). La station n° 3 a été positionnée à la fin de l'écotone minérotrophe de bordure (zone de transition entre le milieu terrestre et la tourbière ombrotrophe nommée lagg), lequel était identifié par un changement significatif dans la végétation (Campbell et Rochefort, 2001). Les stations n° 4, 5 et 6 ont été espacées respectivement de 50, 50 et 200 m (figure 2). En somme, 12 stations étaient situées dans les dépôts minéraux adjacents aux tourbières et 59 dans les tourbières (figure 2).

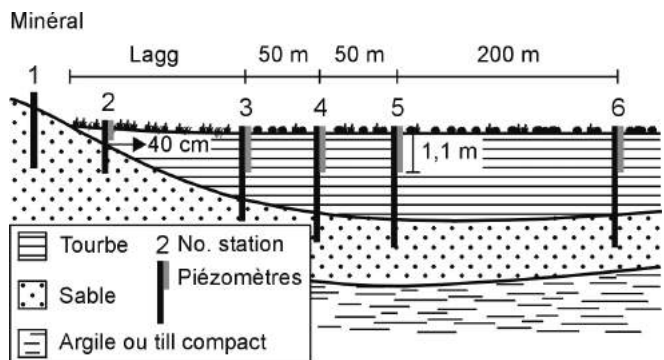


Figure 2. Schéma du dispositif d'échantillonnage. L'aquifère est situé dans les sables.

Chaque station d'inventaire a été instrumentée de 1 ou de 2 piézomètres (les stations doubles concernent les dépôts organiques seulement) (figure 2). Un piézomètre est un dispositif permettant de mesurer la charge hydraulique (la pression de l'eau) à un endroit donné dans une formation poreuse saturée. Dans ce projet, les piézomètres étaient des tubes de PVC de 2,54 cm de diamètre bouchés à une extrémité et dont les 30 cm à partir de la base étaient percés de trous laissant entrer l'eau et permettant la mesure d'une charge hydraulique. Pour les stations comportant 2 piézomètres, le premier était situé dans les dépôts organiques (jusqu'à 110 cm de profondeur) et a permis de mesurer la charge hydraulique dans la tourbe. Le second était situé quelques centimètres sous l'interface tourbe-dépôts minéraux de manière à capter l'eau souterraine et mesurer la charge hydraulique sous-jacente (figure 2).

Lors de la mise en place des piézomètres, la nature du substrat inorganique a été caractérisée (sable, argile, till) et l'épaisseur de tourbe mesurée. L'élévation et l'emplacement de chacun des piézomètres ont été déterminés grâce à un GPS différentiel (Trimble R8 GNSS, précision verticale d'environ 1 cm en mode statique selon USGS, 2013). Ces données ont



servi de référence pour les mesures de charges hydrauliques. Entre mai et novembre 2011, les charges hydrauliques (unités en m) ont été mesurées manuellement à l'aide d'une sonde piézométrique (précision sur la mesure de 0,5 cm) tous les mois pour chacun des piézomètres.

### Inventaires floristiques

Au cours de l'été 2011, des inventaires floristiques ont été réalisés à proximité de chacune des stations piézométriques. Les parcelles ont été positionnées de façon à éviter la zone de perturbation liée aux allées et venues nécessaires pour les relevés hydrogéologiques. Les inventaires ont été réalisés en utilisant la méthode du relevé ponctuel dans des parcelles de 25 m<sup>2</sup> (5 m × 5 m). Les parcelles ont été divisées en 6 lignes équidistantes (1 m entre chaque ligne); toutes les espèces touchant la projection verticale d'une tige placée à chaque mètre le long de ces lignes ont ensuite été recensées (36 points d'inventaire). Les pourcentages d'apparition des espèces (nombre de points/36 × 100) ont été ensuite répartis en 6 classes de recouvrement: 1) < 5%; 2) de 5 à 25%; 3) de 26 à 50%; 4) de 51 à 75%; 5) de 76 à 95%; et 6) de 96 à 100%.

### Quantification des gradients hydrauliques

À partir des données de charges hydrauliques, des gradients hydrauliques latéraux et verticaux ont été calculés à l'aide des équations suivantes:

$$i_l = (h_{(1)} - h_{(2)}) / L_{1-2} \quad (\text{éq. 1})$$

$$i_v = (h_{(T)} - h_{(M)}) / L_{T-M} \quad (\text{éq. 2})$$

où

$i_l$ : gradient hydraulique latéral entre les stations n<sup>os</sup> 1 et 2 (m/m)

$i_v$ : gradient hydraulique vertical entre les stations j et j+1

$h_{(1)}$  et  $h_{(2)}$ : charges hydrauliques dans les piézomètres situés dans l'aquifère voisin (station n<sup>o</sup> 1) et dans la tourbe (station n<sup>o</sup> 2) (m)

$h_{(T)}$  et  $h_{(S)}$ : charges hydrauliques dans les piézomètres situés dans la tourbe (T) et dans les dépôts minéraux (M) aux stations n<sup>os</sup> 2 à 6 (m)

$L_{1-2}$ : distance horizontale séparant les piézomètres des stations n<sup>os</sup> 1 et 2 (m)

$L_{T-M}$ : distance verticale séparant la base des piézomètres situés dans la tourbe et dans les dépôts minéraux à chacune des stations n<sup>os</sup> 2 à 6 (m)

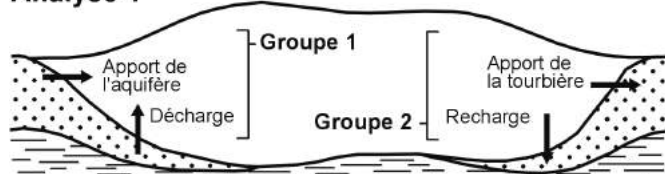
Les gradients hydrauliques permettent d'identifier le sens de l'écoulement (p. ex.: un gradient hydraulique horizontal positif indique un flux d'eau souterraine horizontal de l'aquifère superficiel vers les dépôts organiques, et vice-versa) à condition toutefois que le milieu soit suffisamment perméable pour qu'un écoulement soit possible d'un point de mesure à l'autre. Pour confirmer la présence ou non d'échanges, l'analyse de la chimie de l'eau (p. ex.: pH, conductivité électrique, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Mn, etc.) peut être

nécessaire. Un tel suivi a été fait dans le cadre de ce projet et les données recueillies ont servi à identifier des indicateurs chimiques des échanges. Les résultats ne sont pas présentés ici, mais sont disponibles dans Ferlatte (2013).

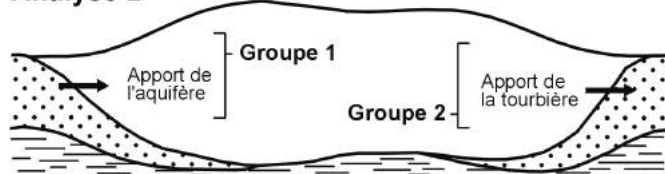
En raison de l'erreur de mesure sur l'altitude relative des stations (+/- 1 cm) et de l'erreur de mesure sur les charges hydrauliques (+/- 0,5 cm), la présence d'un gradient hydraulique significatif a été identifiée seulement pour les différences de charges hydrauliques excédant 2 cm. Les gradients hydrauliques ont été quantifiés pour tous les mois de mesure (de mai à novembre) et la présence d'échanges a été notée pour une station donnée lorsqu'au moins un échange (apport de l'aquifère) a été identifié au moins une fois pendant la saison de mesure. Ce choix est justifié par le fait qu'un apport même unique au cours de l'année pourrait avoir un impact sur les conditions du milieu et donc sur la végétation.

La quantification des échanges a permis d'identifier 2 types d'écoulement dans les 59 stations positionnées dans les dépôts tourbeux: des flux latéraux peu profonds et des échanges verticaux (figure 3). Les écoulements latéraux se faisaient soit de la bordure vers le centre de la tourbière (apport de l'aquifère), soit du centre de la tourbière vers la bordure (apport de la tourbière). Les échanges se faisant verticalement de la surface vers le minéral ont été classifiés comme zone de recharge de l'aquifère. Inversement, une station dont la direction d'écoulement se faisait du minéral vers la surface de la tourbière a été classifiée comme zone de décharge de l'aquifère.

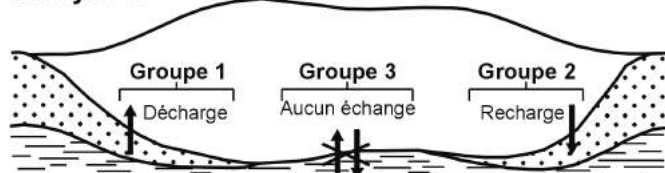
#### Analyse 1



#### Analyse 2



#### Analyse 3



☐ Sable      ☐ Argile ou till compact

Figure 3. Représentation des groupes d'échange tourbière-aquifère utilisés pour identifier les espèces ou associations d'espèces indicatrices.

### Identification des espèces indicatrices

Les espèces indicatrices des différents types d'échanges ont été identifiées à l'aide de l'indice de valeur indicatrice *INDVAL* (Dufréne et Legendre, 1997). Cet indice se calcule sur des groupes préétablis (ici les types d'échanges tourbe-aquifère identifiés par les gradients hydrauliques, figure 3) et se base sur le postulat qu'une espèce indicatrice est spécifique (c'est-à-dire trouvée majoritairement dans un seul groupe) et fidèle (c'est-à-dire présente dans la plupart des sites de ce groupe). La spécificité est maximale (= 1) quand l'espèce n'occupe que les stations d'un groupe donné et la fidélité est maximale (= 1) lorsque l'espèce est présente dans toutes les stations d'un groupe. Ainsi, la valeur indicatrice d'une espèce sera maximale (= 1) lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales; elle sera minimale (= 0) lorsque la spécificité et la fidélité sont minimales (= 0). La valeur médiane des classes de pourcentage de recouvrement pour chaque espèce dans chaque parcelle d'échantillonnage a été utilisée pour faire le calcul des *INDVAL*. Des associations d'espèces indicatrices (présence simultanée de 2 ou 3 espèces) ont aussi été identifiées (De Cáceres et collab., 2012). La significativité statistique des *INDVAL* calculée pour chaque espèce ou association d'espèces a été évaluée *a posteriori* au moyen d'un test par permutation (9 999 permutations). Les analyses ont été réalisées à l'aide du progiciel R.

Trois analyses *INDVAL* distinctes ont été réalisées (figure 3). La première portait sur les apports de l'aquifère à la tourbière, peu importe le type d'écoulement (ou d'échange). Elle prenait en compte 2 groupes: 1) apport provenant de l'aquifère (32 stations) et 2) aucun apport de l'aquifère (27 stations). La seconde analyse portait sur les écoulements latéraux et prenait aussi en compte 2 groupes: 1) apport latéral provenant de l'aquifère (29 stations) et 2) apport latéral provenant de la tourbière (30 stations). Finalement, la troisième analyse concernait les écoulements verticaux et prenait en compte 3 groupes: 1) décharge de l'aquifère (10 stations), 2) recharge de l'aquifère (24 stations) et 3) aucun échange (25 stations).

Ce type d'analyse peut parfois engendrer de nombreux indicateurs significatifs ( $p < 0,05$ ). Pour pallier ce phénomène, seules les espèces et associations d'espèces indicatrices dont la valeur de spécificité était supérieure à 0,6 et la valeur de fidélité supérieure à 0,25 ont été conservées, comme proposé par De Cáceres et collab. (2012). De plus, seuls les indicateurs maximisant le recouvrement spatial global dans le groupe cible (pourcentage de stations où au moins 1 des espèces ou des combinaisons sont présentes) ont été conservés, jusqu'à un maximum de 4 indicateurs (De Cáceres et collab., 2012). Cela signifie que si 2 espèces indicatrices étaient identifiées, mais que la présence de la première était nichée dans la présence de la seconde, seule la seconde fut conservée puisque la première ne permettait pas d'accroître le recouvrement global (figure 4).

		Espèces									
		A	B	C	D	E	F	G	I	J	
Parcelles	1	■			■			■	■		
	2	■	■		■			■	■		
	3	■	■	■				■	■		
	4		■	■		■					
	5			■							■
	6			■							■
	7		■	■							■
	8	■	■	■				■			
	9	■	■					■			
	10		■								

Figure 4. Représentation graphique de la technique utilisée pour sélectionner les espèces indicatrices parmi tous les indicateurs statistiquement significatifs ( $p < 0,05$ ). Dans ce cas, les espèces A, B et C seraient sélectionnées, car ce sont celles qui sont présentes dans le plus de parcelles d'échantillonnage et qui permettent de maximiser le recouvrement global (100 % des parcelles d'échantillonnage). Les espèces D, F, G et I sont nichées dans l'espèce A, c'est-à-dire qu'elles sont présentes dans les mêmes parcelles d'échantillonnage que l'espèce A, mais qu'elles sont moins fréquentes que cette dernière. L'espèce E est nichée dans les espèces B et C et l'espèce J est nichée dans l'espèce C. L'espèce J permettrait d'avoir un recouvrement de 100 % en combinaison de l'espèce A et B, mais comme elle est moins fréquente que l'espèce C, cette dernière est privilégiée.

## Résultats

### Espèces rencontrées

Quatre-vingt-quatorze espèces (64 vasculaires et 30 invasculaires) ont été identifiées dans les 59 parcelles d'inventaire installées dans les tourbières. Quarante-cinq espèces (29 vasculaires et 16 invasculaires) étaient présentes dans les 2 régions. Parmi celles-ci, 4 étaient particulièrement fréquentes (80 à 100 % des placettes) et abondantes (recouvrement de 30 à 60 % dans les parcelles), soit *Chamaedaphne calyculata*, *Vaccinium oxycoccos*, *Sphagnum angustifolium* et *S. magellanicum*. Les espèces *Kalmia angustifolia* et *K. polifolia* étaient aussi abondantes dans les 2 régions (présentes dans plus de 80 % des parcelles), mais *K. angustifolia* était plus commun à Bécancour tandis que *K. polifolia* l'était en Abitibi. Certaines espèces étaient aussi plus abondantes et communes

dans une région en particulier. Par exemple, *Ilex mucronata*, *Eriophorum angustifolium* et la mousse *Polytrichum strictum* étaient surtout associés aux tourbières du Centre-du-Québec tandis que *Drosera rotundifolia*, *Carex limosa*, *Mylia anomala*, *Cladopodiella fluitans*, *Scheuchzeria palustris*, *Sphagnum russowii* et *Rhynchospora alba* étaient surtout associés aux tourbières de l'Abitibi-Témiscamingue. Finalement, 28 espèces (22 vasculaires et 6 invasives) étaient présentes uniquement dans le Centre-du-Québec et 21 dans le secteur Abitibi-Témiscamingue (13 vasculaires et 8 invasives). La plupart de ces espèces étaient relativement rares sauf *Acer rubrum*, *Aronia melanocarpa* et *Rhododendron canadense* dans le secteur Centre-du-Québec et *Gaultheria hispidula* en Abitibi-Témiscamingue.

**Espèces indicatrices d'un apport en eau de l'aquifère à la tourbière**

Parmi les 156 indicateurs valides ( $p < 0,05$ , fidélité  $> 0,6$  et spécificité  $> 0,25$ ) d'un apport en eau de l'aquifère à la tourbière (latéral ou vertical), 2 espèces ont été conservées, soit *Carex limosa* et *Sphagnum russowii* ainsi que le duo *Andromeda polifolia* var. *latifolia* – *Carex oligosperma* (tableau 1). Au moins 1 de ces 3 indicateurs était présent dans 81 % des parcelles avec apport de l'aquifère. Toutefois, la valeur indicatrice de *C. limosa* était surtout valide pour le secteur de l'Abitibi, l'espèce étant pratiquement absente des parcelles inventoriées du secteur de Bécancour.

**Espèces indicatrices de l'absence d'un apport en eau de l'aquifère à la tourbière**

Parmi les 138 indicateurs valides de l'absence d'apport en eau de l'aquifère, 3 associations d'espèces ont été conservées. Il s'agit des duos *Vaccinium oxycoccos* – *Polytrichum strictum* et *Vaccinium oxycoccos* – *Sphagnum rubellum* ainsi que du trio *Eriophorum vaginatum* subsp. *spissum* – *V. oxycoccos* – *Sphagnum fuscum* (tableau 1). Au moins 1 de ces 3 indicateurs était présent dans 89 % des parcelles sans apport en eau de l'aquifère. Toutefois, *P. strictum* était peu présente dans les parcelles inventoriées en Abitibi-Témiscamingue, ce qui signifie que la valeur indicatrice de l'association *V. oxycoccos* – *P. strictum* est surtout associée à la région du Centre-du-Québec.

Tableau 1. Valeurs de spécificité, de fidélité, d'INDVAL et de significativité (p) des espèces et associations d'espèces indicatrices des parcelles d'échantillonnage soumises ou non à un apport de l'aquifère, quel qu'il soit (latéral ou vertical).

	Spécificité	Fidélité	INDVAL	p
<b>Apport de l'aquifère</b>				
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> + <i>Carex oligosperma</i>	0,8681	0,6250	0,737	0,0014
<i>Carex limosa</i>	0,8978	0,4375	0,627	0,0079
<i>Sphagnum russowii</i>	0,8158	0,3438	0,530	0,0357
<b>Aucun apport de l'aquifère</b>				
<i>Eriophorum vaginatum</i> + <i>Vaccinium oxycoccos</i> + <i>Sphagnum fuscum</i>	0,8732	0,7037	0,784	0,0001
<i>Vaccinium oxycoccos</i> + <i>Polytrichum strictum</i>	0,8951	0,5556	0,705	0,0014
<i>Vaccinium oxycoccos</i> + <i>Sphagnum rubellum</i>	0,7278	0,5185	0,614	0,0184

Tableau 2. Valeurs de spécificité, de fidélité, d'INDVAL et de significativité (p) des espèces et associations d'espèces indicatrices des parcelles d'échantillonnage soumises à des écoulements latéraux.

	Spécificité	Fidélité	INDVAL	p
<b>Apport latéral de l'aquifère</b>				
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> + <i>Carex oligosperma</i>	0,8771	0,6207	0,738	0,0056
<i>Carex limosa</i>	0,9065	0,4828	0,662	0,0144
<i>Sphagnum russowii</i>	0,8302	0,3793	0,561	0,0273
<b>Aucun apport latéral de l'aquifère (apport latéral de la tourbière à l'aquifère)</b>				
<i>Eriophorum vaginatum</i>	0,7765	0,7778	0,777	0,0020
<i>Polytrichum strictum</i>	0,9075	0,5556	0,710	0,0074
<i>Sphagnum rubellum</i>	0,7972	0,5185	0,643	0,0047

**Espèces indicatrices d'écoulements latéraux provenant de l'aquifère**

Sur les 110 indicateurs valides d'un apport en eau de l'aquifère par le biais d'écoulement latéral, 2 espèces ont été conservées, soit *C. limosa* et *S. russowii* (tableau 2). De toutes les associations valides d'espèces, seule l'association *A. polifolia* var. *latifolia* – *C. oligosperma* a été conservée. Ces espèces ont aussi été identifiées comme indicatrices d'apport de l'aquifère peu importe son origine (tableau 1). Au moins 1 de ces 3 indicateurs était présent dans 83 % des sites soumis à des écoulements latéraux provenant de l'aquifère.

**Espèces indicatrices d'écoulements latéraux provenant de la tourbière**

Parmi les 167 indicateurs valides d'écoulements latéraux provenant de la tourbière, aucune association d'espèces n'a été retenue, tandis que 3 espèces indicatrices ont été conservées. Il s'agit d'*E. vaginatum* subsp. *spissum*, *P. strictum* et *Sphagnum rubellum* (tableau 2). Ces espèces font toutes partie de l'une ou l'autre des associations d'espèces identifiées comme indicatrices de stations n'ayant aucun apport en eau de l'aquifère. Au moins 1 de ces 3 espèces indicatrices était présente dans 89 % des parcelles soumises à un écoulement latéral provenant de la tourbière.

### Espèces indicatrices de zones de décharge de l'aquifère

Parmi les 43 indicateurs valides de zones de décharge de l'aquifère (apport vertical de l'aquifère à la surface de la tourbière) seules 3 associations d'espèces ont été conservées (tableau 3). Il s'agit des duos *Chamaedaphne calyculata* – *Viburnum nudum* var. *cassinoides* et *Eriophorum angustifolium* – *Sphagnum angustifolium* ainsi que du trio *C. calyculata* – *Larix laricina* – *Sphagnum capillifolium*. Au moins une de ces associations était présente dans 90 % des parcelles où des flux verticaux de l'aquifère vers la tourbière ont été identifiés. L'arbuste *V. nudum* est toutefois presque absent des parcelles inventoriées en Abitibi-Témiscamingue de sorte que la valeur indicatrice de l'association *C. calyculata* – *V. nudum* var. *cassinoides* est surtout associée à sa présence dans les tourbières du Centre-du-Québec.

### Espèces indicatrices de zones de recharge de l'aquifère

Parmi les 61 indicateurs valides des zones de recharge de l'aquifère, 3 associations ont été conservées. Il s'agit du duo *S. capillifolium* – *S. fuscum* et des trios *Rhododendron groenlandicum* – *V. oxycoccus* – *S. fuscum* ainsi que *K. angustifolia* – *C. fluitans* – *S. capillifolium* (tableau 3). Au moins 1 de ces 3 combinaisons d'espèces était présente dans 88 % des sites où des flux verticaux de la tourbière vers l'aquifère ont été identifiés.

### Discussion et conclusion

Cette étude a démontré qu'il est possible d'utiliser les données de gradients hydrauliques pour identifier des espèces indicatrices des échanges d'eau entre une tourbière et l'aquifère. Toutefois, les espèces indicatrices identifiées dans cette étude ne peuvent pas encore être utilisées de façon extensive, l'idée étant de démontrer la pertinence et l'efficacité de la méthode davantage que de présenter une liste exhaustive de taxons indicateurs. L'ajout de sites, où à la fois des mesures de charge

hydraulique et des inventaires floristiques sont disponibles, permettrait d'accroître la robustesse des résultats. Certaines tourbières, dont celles de Lanoraie (Lanaudière) et de Covey Hill (Montérégie), font d'ailleurs l'objet de tels suivis et les données obtenues pourraient éventuellement être analysées de la même façon (Tousignant et collab., 2010; Levison et collab., 2013). L'augmentation du nombre de sites de suivis, mais aussi de la période de suivi (sur plus d'une année), permettrait ainsi de mieux comprendre la dynamique hydrique des sites et éventuellement d'accroître le nombre de situation. Par exemple, au lieu d'analyser les sites selon la présence ou l'absence d'un apport en eau de l'aquifère, il serait possible d'établir des groupes en fonction du pourcentage de temps au cours de la saison de croissance où un site donné est en situation de décharge ou de recharge de l'aquifère. Finalement, il peut arriver que des facteurs interagissent avec l'origine de l'eau et que les espèces identifiées soient influencées par ces variables plutôt que par l'origine de l'eau elle-même. Par exemple, la végétation de bordure de tourbière, où se trouvent essentiellement les apports latéraux et verticaux peu profonds, est aussi influencée par des fluctuations importantes de niveaux d'eau et par une luminosité plus faible résultant d'une plus grande abondance d'arbres et d'arbustes (Wheeler et Proctor, 2000; Bragazza et collab., 2005). Des analyses multi-variables pourraient éventuellement permettre de comparer l'importance des différentes variables (provenance de l'eau, chimie locale, luminosité, etc.) en fonction de la présence d'espèces indicatrices.

Malgré les limites liées au faible nombre de sites d'analyse, les résultats obtenus sont cohérents avec la littérature portant sur les exigences écologiques des espèces tourbicoles. En effet, la plupart des espèces indicatrices d'un apport d'eau de l'aquifère vers la tourbière (latéral ou vertical) telles que *Andromeda polifolia* var. *latifolia*, *Carex limosa*, *Viburnum nudum* var. *cassinoides* et *Sphagnum russowii* ont déjà été identifiées comme des indicateurs de conditions minérotrophiques (fens pauvres à riches) ou d'apports d'eau souterraine (Heinselman, 1970; Glaser et collab., 1990; Vitt et Chee, 1990; Visser et collab., 2000; Gauthier, 2001). À l'inverse, la plupart des espèces identifiées comme indicatrices d'une absence d'apport, telles que *Vaccinium oxycoccus*, *Sphagnum rubellum* et *Eriophorum vaginatum* subsp. *spissum*, sont des espèces typiquement ombrotrophes qui se trouvent dans des habitats où l'eau de surface est peu minéralisée (Glaser et collab., 1990; Campbell et Rochefort, 2001). D'autre part, les espèces identifiées sont relativement constantes dans les 3 analyses, ce qui suggère que le sens des flux d'eau associés à l'aquifère est peu important pour la flore de surface. Cela ne pourra toutefois être confirmé que

Tableau 3. Valeurs de spécificité, de fidélité, d'INDVAL et de significativité (p) des espèces et associations d'espèces indicatrices des parcelles d'échantillonnage soumises à des écoulements verticaux.

	Spécificité	Fidélité	INDVAL	p
<b>Décharge (flux des dépôts sous-jacents vers la tourbière)</b>				
<i>Chamaedaphne calyculata</i> + <i>Larix laricina</i> + <i>Sphagnum capillifolium</i>	0,6534	0,6000	0,626	0,0388
<i>Eriophorum angustifolium</i> + <i>Sphagnum angustifolium</i>	0,7776	0,4000	0,558	0,0380
<i>Chamaedaphne calyculata</i> + <i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	0,7627	0,4000	0,552	0,0110
<b>Recharge (flux de la tourbière vers les dépôts sous-jacents)</b>				
<i>Sphagnum capillifolium</i> + <i>Sphagnum fuscum</i>	0,6601	0,7500	0,704	0,0307
<i>Rhododendron groenlandicum</i> + <i>Vaccinium oxycoccus</i> + <i>Sphagnum rubellum</i>	0,8232	0,3750	0,556	0,0346
<i>Kalmia angustifolia</i> + <i>Cladopodiella fluitans</i> + <i>Sphagnum capillifolium</i>	0,8696	0,2500	0,466	0,0424

par l'ajout de sites, notamment de sites en présence de recharge et de décharge qui sont peu abondants dans notre étude.

En conclusion, nous croyons que les espèces indicatrices pourraient devenir un outil utile pour les responsables de la gestion du territoire, notamment dans un contexte où les milieux humides subissent des pressions croissantes et donc, que des ressources devraient être investies pour poursuivre ce travail. En effet, à l'heure actuelle, les fonctionnaires responsables de l'émission d'un certificat d'autorisation pour la réalisation d'une activité dans un milieu humide, en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., chapitre Q-2), doivent théoriquement tenir compte de la connectivité hydrologique des milieux humides dans leur analyse stratégique (MDDEP, 2012). Toutefois, il leur est présentement quasi impossible de juger de la connectivité des milieux humides avec les eaux souterraines. La présence d'espèces indicatrices de flux hydrauliques entre une tourbière et un aquifère pourrait donner une indication de l'importance du site dans l'hydrologie régionale et améliorer l'analyse des impacts environnementaux de la demande étudiée.

## Remerciements

Les auteures remercient le Fonds de recherche du Québec Nature et technologies (FRQNT) dans le cadre du programme FRQNT – Partenariats Actions concertées sur les eaux souterraines pour sa contribution financière à cette étude. Elles remercient également les propriétaires privés, de même que les MRC d'Abitibi, de Bécancour, de l'Érable, de Lotbinière, de Nicolet-Yamaska, d'Arthabaska et de l'Association de Chasse et Pêche de Plessisville pour avoir autorisé l'accès à leur terrain. Finalement, elles remercient Michel Crête, Denise Tousignant et un réviseur anonyme pour leurs commentaires sur une version préliminaire du manuscrit. ◀

## Références

- ATLAS AGROCLIMATIQUE DU QUÉBEC, 2012. Agrométéo Québec: saison de croissance. Disponible en ligne à : <http://dev.agrometeo.org/atlas/category/saisicris/therm/true>. [Visité le 13-01-28].
- AVARD, K., M. LAROCQUE et S. PELLERIN, 2013. Perturbations des tourbières de la région de Bécancour, Centre-du-Québec, entre 1966 et 2010. *Le Naturaliste canadien*, 137 (1): 8-15.
- BLEUTEN, W., W. BORREN, P.H. GLASER, T. TSUCHIHARA, E.D. LAPSHINA, M. MÄKILÄ, D. SIEGEL, H. JOOSTEN et M.J. WASSEN, 2006. Hydrological processes, nutrient flows and patterns of fens and bogs. *Ecological Studies*, 190: 183-204.
- BRAGAZZA, L., H. RYDIN et R. GERDOL, 2005. Multiple gradients in mire vegetation: a comparison of a Swedish and an Italian bog. *Plant Ecology*, 177: 223-236.
- CAMPBELL, D.R. et L. ROCHEFORT, 2001. La végétation: gradients. Dans: PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 129-140.
- CHARMAN, D.J., 2002. *Peatlands and environmental change*. Wiley, Chichester, 301 p.
- De CÁCERES, M., P. LEGENDRE, S.K. WISER et L. BROTONS, 2012. Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 973-982.
- DEVITO, K.J., J.M. WADDINGTON et B.A. BRANFIREUN, 1997. Flow reversals in peatlands influenced by local groundwater systems. *Hydrological Processes*, 11: 103-110.
- DUFRÈNE, M. et P. LEGENDRE, 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2013. Archives nationales d'informations et de données climatologiques. Disponible en ligne à : [http://www.climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/index\\_f.html](http://www.climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html). [Visité le 13-01-28].
- FERLATTE, M., 2013. Hydrogéochimie des systèmes aquifère-tourbière et traceurs des processus d'échanges dans deux contextes géoclimatiques du Québec méridional. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Montréal, 67 p.
- GAUTHIER, R., 2001. Les sphaignes. Dans: PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 129-140.
- GLASER, P.H., J.A. JANSSENS et D.I. SIEGEL, 1990. The response of vegetation to chemical and hydrological gradients in the Lost River peatland, northern Minnesota. *Journal of Ecology*, 78: 1021-1048.
- GORHAM, E., 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1: 182-195.
- GOSLEE, S.C., R.P. BROOKS et C.A. COLE, 1997. Plants as indicators of wetland water source. *Plant Ecology*, 131: 199-206.
- GRANDTNER, M.G., 1966. *La végétation forestière du Québec méridional*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 216 p.
- HEINSELMAN, M.L., 1970. Landscape evolution, peatland types and the environment in the Lake Agassiz Peatlands Natural Area, Minnesota. *Ecological Monographs*, 40: 235-261.
- JOOSTEN, H. et D. CLARKE, 2002. Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Saarijärvi, 304 p.
- LAVOIE, M. et J. COLPRON-TREMBLAY, 2013. Étude paléoécologique de la Grande-Tourbière-de-Villeroi. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 37 p.
- LEVISON, J., M. LAROCQUE, V. FOURNIE, S. GAGNÉ, S. PELLERIN et M.A. OUELLET, 2013. Dynamics of a headwater system and peatland under current conditions and with climate change. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.9978
- MARINI, L., J. NASCIMBENE, M. SCOTTON et S. KLIMEK, 2008. Hydrochemistry, water table depth and related distribution patterns of vascular plants in a mixed mire. *Plant Biosystems*, 142: 79-86.
- MDDEP, 2012. Les milieux humides et l'autorisation environnementale. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, Direction des politiques de l'eau et Pôle d'expertise hydrique et naturel, Québec, 41 p.
- MOORE, P.D., 2002. The future of cool temperate bogs. *Environmental Conservation*, 29: 3-20.
- PAKARINEN, P., 1995. Classification of boreal mires in Finland and Scandinavia: a review. *Plant Ecology*, 118: 29-38.
- PAYETTE, S. 2001. Les principaux types de tourbières. Dans: PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 39-49.
- PELLERIN, S. 2003. Des tourbières et des hommes. L'utilisation des tourbières dans la région de Rivière-du-Loup – L'Isle-Verte. *Le Naturaliste canadien*, 127 (1): 18-23.
- POULIN, M., S. PELLERIN, L. ROCHEFORT et J. THIBAUT, 2004. Threats and protection for peatlands in eastern Canada. *Géocarrefour*, 79: 331-344.
- PRICE, J.S., B.A. BRANFIREUN, J.M. WADDINGTON et K.J. DEVITO, 2005. Advances in Canadian wetland hydrology, 1999-2003. *Hydrological Processes*, 19: 201-214.
- RIVIER, M.N., 2006. Caractérisation et modélisation de la dynamique d'écoulement dans le système aquifère de l'esker Saint-Mathieu / Berry, Abitibi, Québec. Mémoire de maîtrise, Institut national de recherche scientifique, Québec, 203 p.

- ROSSI, P.M., P. ALA-AHO, A.K. RONKANEN et B. KLØVE, 2012. Groundwater-surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology*, 432 : 52-60.
- SAUCIER, J.-P., P. GRONDIN, A. ROBITAILLE et J.-F. BERGERON, 2003. Carte des régions écologiques, 3<sup>e</sup> version. Ministère des Ressources naturelles du Québec, code 2003-3015, Québec.
- SJORS, H., 1950. On the relation between vegetation and electrolytes in North Swedish mire waters. *Oikos*, 2 : 241-258.
- SMERDON, B.D., C.A. MENDOZA et K.J. DEVITO, 2012. The impact of gravel extraction on groundwater dependent wetlands and lakes in the boreal plains, Canada. *Environmental Earth Sciences*, 67 : 1249-1259.
- TOUSIGNANT, M.E., S. PELLERIN, et J. BRISSON, 2010. Human impact on the vegetation of a large wetland complex in southern Québec, Canada. *Wetlands*, 30 : 333-344.
- USGS (United States Geological Survey), 2013. USGS Global positioning application and practice. Disponible en ligne à : <http://water.usgs.gov/osw/gps/>. [Visité le 13-??-??].
- VISSER, E. J.W., G.M. BOGEMANN, H.M. VAN DE STEEG, R. PIERICK et W.P.M. BLOM, 2000. Flooding tolerance of *Carex* species in relation to field distribution and aerenchyma formation. *New Phytologist*, 148 : 93-103.
- VITT, D.H. et W.L. CHEE, 1990. The relationships of vegetation to surface water chemistry and peat chemistry in fens of Alberta, Canada. *Vegetatio*, 89 : 87-106.
- WADDINGTON, J.M. et W.L. QUINTON, 2009. Advances in Canadian peatland hydrology, 2003-2007. *Canadian Water Resources Journal*, 34 : 139-148.
- WELLS, E.D. et S. ZOLTAI, 1985. Canadian system of wetland classification and its application to circumboreal wetlands. *Aquilo Series Botanica*, 21 : 45-52.
- WHEELER, B.D. et M.C.F. PROCTOR, 2000. Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. *Journal of Ecology*, 88 : 187-203.
- WINTER, T.C., D.C. BUSO, P.C. SHATTUCK, P.T. HARTE, D.A. VROBLESKY et D.J. GOODE, 2008. The effect of terrace geology on ground-water movement and on the interaction of ground water and surface water on a mountainside near Mirror Lake, New Hampshire, USA. *Hydrological Processes*, 22 : 21-32.



© Christophe Bardin



**CALENDRIER REMIS  
GRACIEUSEMENT  
à tous les donateurs  
de 25\$ et plus**

## Notre calendrier 2014 est arrivé ! Découvrez des fascinantes histoires de migration.

**CONTACTEZ-NOUS SANS TARDER**

au numéro sans frais 1 877 639-0742 ou 418 644-7926 (région de Québec)  
ou faites votre don en ligne [fondationdelafaune.qc.ca/aide/donner/](http://fondationdelafaune.qc.ca/aide/donner/)

MERCI de nous aider à faire plus pour les habitats de la faune du Québec



Fondation de la faune du Québec

# Est-ce que le roseau commun exotique envahit les marais adjacents aux routes ?

Benjamin Lelong et Claude Lavoie

## Résumé

En Amérique du Nord, le roseau commun (*Phragmites australis*) représente une nuisance, car les marais envahis par l'haplotype exotique de cette espèce (haplotype M) possèdent une diversité végétale particulièrement faible. Au Québec, l'extension du réseau routier amorcée au début des années 1960 ainsi que l'asphaltage des routes ont facilité la propagation du roseau dans tout le sud de la province, la plante trouvant dans les fossés de drainage un habitat particulièrement propice à son établissement et sa croissance. Le roseau qui se propage en bordure d'une route reste-t-il dans l'emprise routière ou envahit-il tout marais traversé par le corridor routier ? Un système d'information géographique et des photographies aériennes historiques ont permis de cartographier les populations de roseaux présentes dans 14 marais adjacents au réseau autoroutier du sud du Québec. Le roseau exotique était présent dans 9 des 14 marais étudiés. L'analyse historique de l'invasion du roseau dans 3 marais montre que le processus d'invasion a commencé après la construction des autoroutes et qu'il a progressé ensuite de manière constante et rapide. Néanmoins, le roseau ne s'est pas toujours propagé des fossés de drainage de l'autoroute vers le marais adjacent. Il arrive parfois que le roseau s'installe d'abord au sein même du marais avant d'investir le fossé de drainage de l'autoroute voisine. Quoi qu'il en soit, empêcher l'établissement du roseau dans les fossés routiers à proximité des marais constitue une approche prudente de prévention des invasions.

**MOTS CLÉS :** fossé de drainage, marais, *Phragmites australis*, plante envahissante, route

## Abstract

In North America, the exotic haplotype M of the common reed (*Phragmites australis*) is considered a problematic invader of wetlands, negatively affecting marsh plant diversity. In Québec, the extension and paving of the road network at the beginning of the 1960s, provided suitable habitat (roadside verges and ditches) for the successful establishment and growth of this grass, and contributed to its spread across the southern part of the province. However, to what extent the common reed populations that had established along roadsides spread into adjacent wetlands, had not been determined. The present study used a geographic information system and historical aerial photographs to map common reed populations located in 14 marshes adjacent to highways in southern Québec. The exotic haplotype was present in 9 of the 14 marshes investigated. The historical analysis of 3 of these marshes showed that the invasion process was initiated after the construction of the highway, with the plant constantly and rapidly occupying successively larger areas. However, the exotic haplotype of the common reed did not always spread from roads to marshes; occasionally, it established in the marsh and then spread along nearby roads. Nevertheless, preventing the establishment of the exotic haplotype of the common reed in roadside ditches would be a prudent approach to help preserve adjacent marshes from this invasive exotic plant.

**KEYWORDS:** drainage ditch, invasive exotic plant, marsh, *Phragmites australis*, road

## Introduction

Une des plantes vasculaires la plus envahissante en Amérique du Nord est le roseau commun (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.; Poaceae). Comme son nom l'indique, le roseau commun est une graminée cosmopolite, probablement une des plus répandues dans le monde (Mal et Narine, 2004). Le roseau se trouve surtout dans les milieux humides ou les plaines inondables, comme les marais d'eau douce ou saumâtre (Meyerson et collab., 2000), les rives des lacs, des rivières et des fleuves (Wilcox et collab., 2003; Hudon et collab., 2005; LeBlanc et collab., 2010) et les fossés de drainage en bordure des routes ou dans les champs agricoles (Maheu-Giroux et de Blois, 2007; Jodoin et collab., 2008). Une population de roseau s'implante dans un nouveau site par le biais de la germination de graines disséminées par le vent ou l'eau (Belzile et collab., 2010) ou par l'enracinement de fragments de tige ou de rhizome transportés par l'eau (Bart et Hartman, 2003; Hudon

et collab., 2005; Minchinton, 2006). Une fois implantée, une population s'étend de manière végétative à l'aide de rhizomes et de stolons (Haslam, 1972; Mal et Narine, 2004). Le roseau peut ainsi rapidement former dans les marais des peuplements qui s'étendent sur plusieurs dizaines d'hectares (Rice et collab., 2000; White et collab., 2004; Hudon et collab., 2005).

Au cours des 50 dernières années, le roseau a beaucoup étendu le nombre et la superficie de ses populations au Canada et aux États-Unis, envahissant à la fois les marais d'eau douce

*Benjamin Lelong (Ph. D.) est biologiste et chargé de cours ainsi que professionnel de recherche à l'École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD) de l'Université Laval.*

*Claude Lavoie (Ph. D.) est biologiste et professeur titulaire à l'ÉSAD.*

*claude.lavoie@esad.ulaval.ca*

(Wilcox et collab., 2003; Hudon et collab., 2005; Taddeo et de Blois, 2012), d'eau saumâtre (Windham et Lathrop, 1999; Meyerson et collab., 2000; Minchinton et Bertness, 2003; Philipp et Field, 2005) et d'eau salée (Burdick et collab., 2001; Bart et Hartman, 2003). Saltonstall (2002) et Lelong et collab. (2007) ont démontré que l'invasion des marais nord-américains par le roseau a coïncidé avec l'arrivée d'un génotype eurasiatique de l'espèce (haplotype M) introduit il y a 100 à 200 ans le long de la côte est de l'Amérique du Nord et dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent.

Les invasions de roseaux ont des impacts négatifs dans les marais, surtout en ce qui concerne les assemblages végétaux indigènes. Les roselières denses perturbent le cycle de décomposition de la matière organique par leur abondante production de biomasse, parfois jusqu'à 10 fois plus que ce que produisent les assemblages végétaux des marais non envahis (Windham et Lathrop, 1999; Bedford, 2005). La grande quantité de racines et de rhizomes de roseaux et l'accumulation de litière à la surface du sol conduisent souvent à l'exondation des milieux humides (Rooth et collab., 2003) et modifient donc l'hydrologie des écosystèmes aquatiques (Osgood et collab., 2003). Cela n'est pas sans conséquence pour les espèces qui ont besoin d'étendues d'eau libre pour survivre. Ainsi, les sites envahis par le roseau sont très pauvres en hydrophytes indigènes (Farnsworth et Meyerson, 1999; Keller, 2000; Lavoie et collab., 2003; Minchinton et Bertness, 2003; Rickey et Anderson, 2004), notamment parce que la grande taille et la forte production de litière du roseau réduisent la quantité de lumière disponible aux autres plantes et empêchent la germination des graines qui se trouvent dans le réservoir du sol (Lenssen et collab., 2000).

Au Québec, Lelong et collab. (2007) ont démontré que l'expansion géographique du roseau exotique, qui s'est amorcée aux cours des années 1960 et 1970, a coïncidé avec l'expansion et l'amélioration (asphaltage) du réseau routier de la province. Les berges et fossés de drainage créés le long des routes forment un biotope artificiel particulièrement propice à l'établissement et à l'expansion du roseau (Brisson et collab., 2010). Les fossés sont en général inondés, du moins pendant une bonne partie de l'été. Ils sont complètement dégagés de végétation arbustive ou arborescente pour favoriser leur efficacité, pour faciliter leur entretien et pour des motifs de sécurité routière. Or, le roseau prolifère surtout en milieu ouvert (Haslam, 1972; Mal et Narine, 2004; Jodoin et collab., 2008; Albert et collab., 2013). Les berges et les fossés sont aussi fréquemment perturbés par la fauche ou le creusage. Or, une augmentation de la densité des tiges de roseau est souvent observée après une première fauche (Asaeda et collab., 2006). Enfin, le génotype exotique du roseau tolère particulièrement bien le sel (Vasquez et collab., 2005) qui est présent en bordure des routes en raison de l'application de fondants pendant la période hivernale.

S'il existe un lien entre la présence d'une route et celle de l'haplotype M du roseau, nous ignorons si les routes constituent bel et bien des corridors de propagation du roseau vers les

marais qui leur sont adjacents. Le roseau qui se propage le long d'une route se cantonne-t-il à son emprise ou au contraire envahit-il tout milieu humide traversé par le corridor routier? Il est crucial d'obtenir la réponse à cette question, car cela permettrait de déterminer le rôle réel des routes dans le processus d'invasion des marais par le roseau. Cette réponse pourrait ainsi aider les gestionnaires des réseaux routiers à prendre les mesures qui s'imposent pour limiter la propagation du roseau hors des emprises routières. Cette étude avait pour objectif de vérifier si les marais adjacents au réseau autoroutier du Québec sont réellement envahis par le roseau exotique et si celui-ci se propage des emprises routières vers les marais.

## Méthodes

Toutes les autoroutes de la grande région de Montréal, dans le sud du Québec, ont été parcourues en automobile au cours du mois de mai 2005 afin de cartographier les marais qui leurs étaient adjacents (figure 1). La région circonscrite correspond à celle identifiée par Jodoin et collab. (2008) comme étant la partie du territoire québécois où les emprises des autoroutes sont les plus envahies par le roseau, soit toute la région située à l'ouest du lac Saint-Pierre (rive nord du fleuve Saint-Laurent) et de la rivière Bécancour (rive sud). Quatorze marais ont ainsi été sélectionnés pour échantillonnage. Il s'agit de marais peu profonds avec herbacées émergentes robustes. Ce type de marais repose en général sur des substrats riches et argileux. La profondeur d'eau peut y atteindre 1 m après la fonte des neiges. Ces marais étaient dominés par des herbacées (*Typha angustifolia* L. et *Typha latifolia* L.), dont le couvert variait de 75 à 100 %.

Chaque marais cartographié a été visité au cours du mois d'août 2005. Le périmètre de chaque population de roseau, qu'elle soit située sur l'emprise autoroutière bordant le marais (sur une distance de 100 m de part et d'autre des limites du marais) ou au sein même du marais, a été cartographié à l'aide d'un système de positionnement géographique, dont la marge d'erreur était généralement inférieure à 10 m. Les données ont ensuite été transférées dans un système d'information géographique (SIG).

Un ensemble de photographies aériennes numériques de haute résolution a été utilisé pour reconstituer l'historique de l'invasion des marais par le roseau. Seuls les 3 plus grands marais cartographiés dans ce travail (A20-9, A30-178 et A40-12; figure 1) ont été sélectionnés pour cette reconstitution, car ils étaient envahis par le roseau et visibles sur un nombre suffisant (au moins 4 années différentes) de photographies aériennes. Les photographies aériennes utilisées pour la reconstitution ont été prises sur une période de 40 ans (1964, 1983, 1992, 1997 et 2004), étaient toutes en noir et blanc et avaient toutes une échelle de 1 : 15 000. Elles ont toutes d'abord été géoréférencées dans le SIG. Par la suite, 2 étapes ont été nécessaires pour délimiter avec précision, sur les photographies aériennes historiques, le périmètre des populations de roseau. Dans un premier temps, nous avons superposé sur les photographies de 2004 le périmètre de toutes



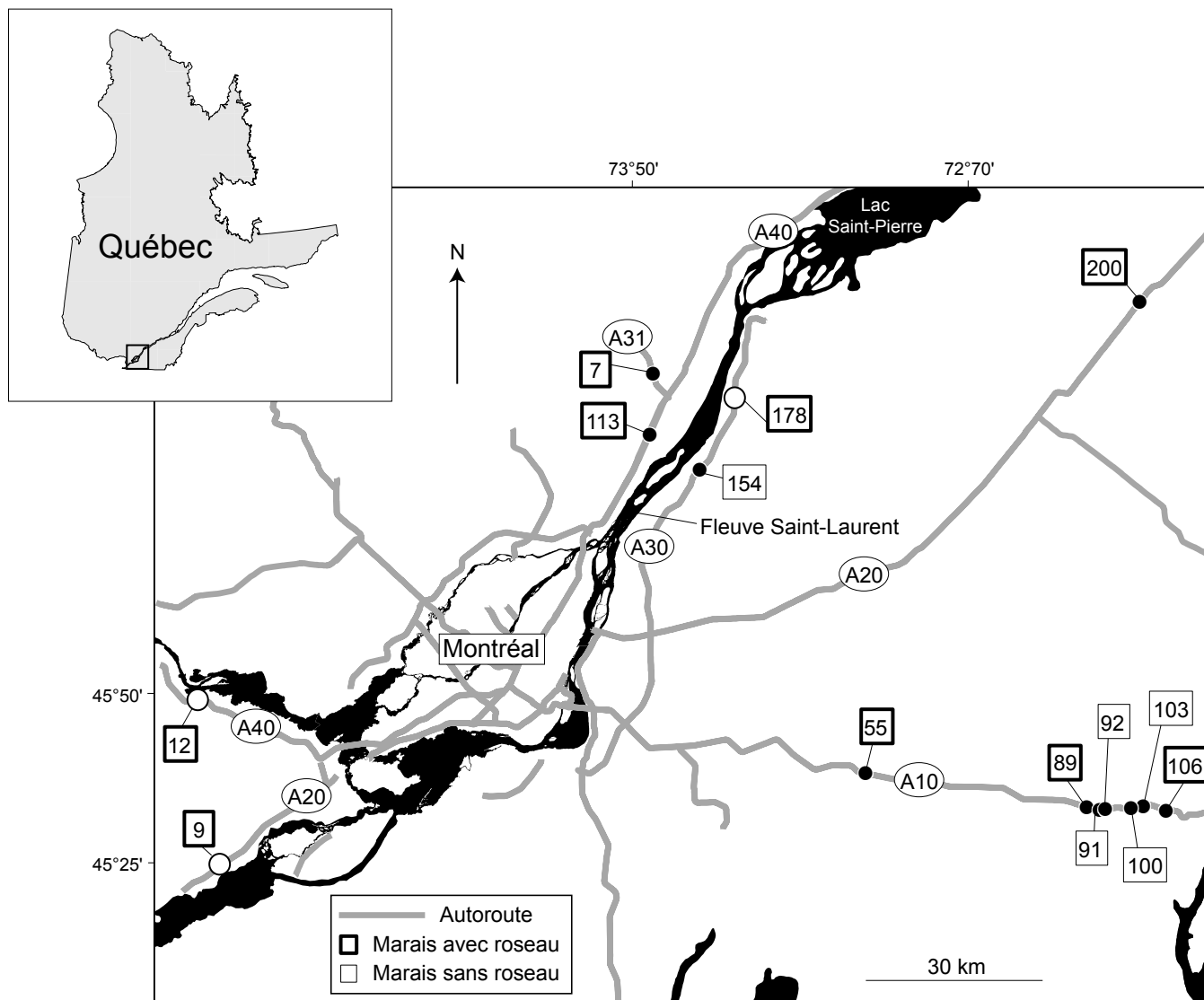


Figure 1. Carte de la grande région de Montréal (Québec) illustrant l'emplacement des marais situés en bordure des autoroutes qui ont été échantillonnés en 2005. Les points blancs indiquent les marais qui ont aussi fait l'objet d'une reconstitution historique de leur envahissement par le roseau commun. Le numéro des autoroutes est indiqué dans une ellipse. Le numéro de la borne kilométrique près de laquelle chaque marais est situé se trouve dans un rectangle.

les populations identifiées sur le terrain en 2005. Cela a permis de distinguer visuellement la signature photographique d'une population de roseau. Le périmètre de toutes les structures possédant la même signature a ensuite été tracé à main levée à l'aide du SIG (mais sans l'aide des cartes de 2005) sur toutes les photographies aériennes sélectionnées. Pour estimer la marge d'erreur associée à la photo-interprétation, la cartographie des photographies aériennes prises en 2004 a été comparée à la cartographie de terrain effectuée en 2005. Les différences entre les 2 cartes correspondaient probablement aux erreurs de photo-interprétation, en supposant bien sûr qu'il y ait eu peu de changements dans le nombre et la superficie des populations de roseau de 2004 à 2005. Nous avons ainsi pu estimer qu'en moyenne, nous surestimions quelque peu (4 %) la superficie réelle des populations de roseau en travaillant

avec les photographies aériennes. Un test d'ajustement de la distribution des données a été utilisé pour déterminer si la courbe d'évolution de la superficie des populations de roseau en fonction du temps, calculée pour chaque site, correspondait à une courbe de nature exponentielle. Cette analyse teste l'absence de différence significative ( $P < 0,05$ ) entre la distribution observée et la distribution théorique, ici exponentielle. Les calculs ont été effectués avec l'aide au logiciel SPSS (SPSS Inc., 2003).

### Résultats

L'haplotype M du roseau était présent dans 9 des 14 marais inventoriés. Pour les 5 autres marais, le roseau était présent à moins de 100 m, le long de l'autoroute. Le roseau a envahi les 3 marais sélectionnés pour une étude historique

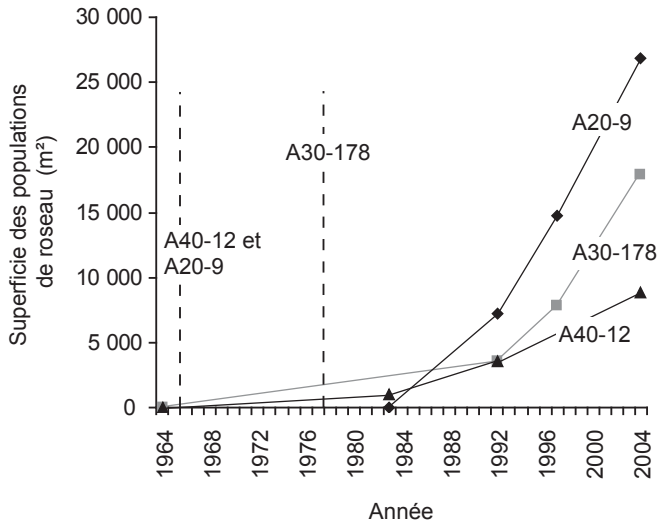


Figure 2. Évolution de la superficie des populations de roseau commun présentes au sein et à proximité immédiate (distance inférieure à 100 m) de 3 marais (A20-9, A30-178, A40-12) adjacents aux autoroutes du sud du Québec en fonction du temps. L'année de construction des autoroutes est indiquée par un trait vertical en pointillé.

(figure 2) à un rythme exponentiel (A20-9:  $P = 0,38$ , A30-178:  $P = 0,46$ ; A40-120:  $P = 0,52$ ), L'envahissement a débuté dans les 3 cas après la construction de l'autoroute.

### Marais A20-9

Il est probable que cette terre humide ait été dans le passé cultivée puis abandonnée en raison de l'insuffisance du drainage, puisqu'elle se situe à l'extrémité d'un champ agricole (figure 3). L'autoroute qui la voisine a pour sa part été construite en 1966. Aucune population de roseau n'était alors présente au sein du marais ni en bordure de l'autoroute. En 1992, le roseau était bien implanté et formait des structures linéaires dans la partie sud et est du marais, c'est-à-dire là où étaient situés des sentiers de véhicules tout-terrain (figure 4). Il n'y avait cependant pas de roseau dans les fossés de drainage de l'autoroute en 1992; ce n'est que sur la photographie aérienne de 1997 qu'il devient visible dans ces structures. La photographie aérienne de 2004 met encore plus en évidence la progression constante du roseau dans le marais depuis son installation. En somme, pour ce cas précis, l'envahissement par le roseau a débuté au sein même du marais et ne s'est donc pas propagé de manière végétative de l'autoroute vers le marais.

### Marais A30-178

Ce marais n'est probablement pas une terre humide naturelle. Nous remarquons en effet qu'en 1964 (donc avant la construction de l'autoroute; figure 3) le marais reposait sur des champs agricoles à l'abandon. Nous notons, sur la photographie aérienne de 1992, que la zone humide a été divisée en 2 à la suite de la construction de l'autoroute qui a eu lieu 15 ans plus tôt. À cette époque, les populations de roseau étaient déjà bien implantées en bordure de l'autoroute

et commençaient à investir l'intérieur du marais. En 1997, les populations de roseau déjà implantées étaient plus étendues qu'en 1992; cette tendance à l'accroissement s'est poursuivie de 1997 à 2004. Dans ce cas précis, l'envahissement par le roseau a été initié dans les fossés de drainage de l'autoroute et a progressé vers le marais.

### Marais A40-12

En 1964, aucune zone humide n'existait sur le site qui était alors cultivé (figure 3). L'autoroute était en phase de construction. En 1983, l'autoroute était alors fonctionnelle. Une zone humide était présente et elle résultait probablement de l'obstruction du drainage naturel du site causée par le corridor routier (figure 5). Le site ne semblait plus cultivé à cette époque. Deux populations de roseau étaient présentes à ce moment, l'une le long de l'autoroute et l'autre au sein du marais. En 1992, les 2 populations de roseau étaient plus étendues qu'en 1983; cette tendance s'est poursuivie de 1992 à 2004. Dans le marais A40-12, le roseau s'est donc établi de façon simultanée le long de l'autoroute et à une certaine distance de cette dernière.

### Discussion

Nous trouvons du roseau commun exotique (haplotype M) dans la plupart des marais qui sont situés le long des autoroutes du sud du Québec. Il n'occupe toutefois, pour le moment, que de faibles superficies. Les autoroutes forment donc d'importants réservoirs de graines, de rhizomes et de stolons de roseau, réservoirs pouvant être à l'origine de l'envahissement rapide d'un marais adjacent. L'analyse historique de l'invasion du roseau dans 3 marais a montré que le processus a débuté après la construction des autoroutes et qu'il est, dans tous les cas, en progression constante et rapide. Cependant, le roseau ne s'est pas toujours propagé des fossés de drainage de l'autoroute vers le marais adjacent. Dans au moins un cas, le roseau s'est d'abord installé au sein même du marais et, à partir de ce point, a investi le fossé et la berge de l'autoroute voisine.

Dans les 3 marais étudiés pour ce travail, l'envahissement par le roseau a progressé de manière exponentielle. Ce n'est pas nécessairement ce que nous observons dans tous les marais nord-américains. La progression de l'invasion peut en effet être très variable d'un marais à l'autre et d'une année à l'autre au sein du même marais (Rice et collab., 2000; Wilcox et collab., 2003; Hudon et collab., 2005; Philipp et Field, 2005). Le roseau peut ne pas progresser du tout pendant plusieurs années, puis voir la superficie de ses populations augmenter à un rythme exponentiel sur de courtes périodes (Wilcox et collab., 2003; Hudon et collab., 2005). Des bas niveaux d'eau (pendant 1 ou 2 étés) peuvent notamment accélérer la vitesse d'envahissement (Rice et collab., 2000; Wilcox et collab., 2003; Hudon et collab., 2005). Le roseau est en effet plus résistant à la sécheresse que la plupart des autres plantes de marais. Une réduction de la surface foliaire associée à un ajustement osmotique et à un maintien de l'efficacité de l'activité photosynthétique permettent au



**Figure 3.** Reconstitution historique de l’envahissement par le roseau commun (polygones blancs) de trois marais (A20-9, A30-178, A40-12) situés à proximité d’autoroutes du sud du Québec. La reconstitution a été effectuée à l’aide de photographies aériennes numériques de haute résolution. L’année de la photographie est indiquée dans chaque cas.

roseau de continuer à croître en conditions de stress hydrique (Pagter et collab., 2005). En conditions sèches, l’envahissement se ferait principalement au moyen de stolons qui peuvent atteindre fréquemment des longueurs de plus de 5 m (B. Lelong, observations personnelles). Au contraire, un niveau d’eau élevé (supérieur à 1 m au-dessus de la surface du sol) freinera la progression du roseau et réduira ainsi les risques d’invasion du milieu humide (Hudon et collab., 2005).

Compte tenu de l’importance du réseau routier comme corridor de propagation et comme habitat propice au roseau (Brisson et collab., 2010), nous pourrions nous attendre à ce

que l’envahissement par le roseau d’un marais adjacent à une route soit initié par l’implantation d’une population en bordure de la route, population qui s’étendrait peu à peu au marais par propagation végétative. Cela peut, en effet, se produire (marais A30-178), mais nous avons aussi observé le cas contraire (marais A20-9). Les cas étudiés dans cette étude sont trop peu nombreux pour établir un patron général d’envahissement, mais la situation semble plus complexe qu’elle ne le paraissait au départ. Une perturbation au sein même du marais peut favoriser l’établissement du roseau (sentiers de véhicules tout-terrain du marais A20-9). Nous savons aussi depuis peu que le roseau



Benjamin Lelong

**Figure 4.** Marais A20-9 (près de l'autoroute 20, borne kilométrique 9, non loin de Montréal), là où se trouve un sentier de véhicules tout-terrain le long duquel s'est propagé le roseau commun.



Benjamin Lelong

**Figure 5.** Marais A40-12 (près de l'autoroute 40, borne kilométrique 12, non loin de Montréal). À l'avant-plan (avec les poteaux supportant une ligne électrique) se trouve la zone envahie par le roseau commun. À l'arrière se trouve la zone dominée par les quenouilles.

se propage au Québec essentiellement par graines (Belzile et collab., 2010) qui peuvent germer dans les fossés de drainage routier et former des plantules qui survivront à leur premier hiver (Brisson et collab., 2008) ou sur des sols humides dénudés par une perturbation (A. Albert, observations personnelles). La reproduction sexuée contribue donc de manière importante à la dissémination de la plante (Groupe Phragmites, 2012). En somme, il ne serait pas absolument nécessaire qu'une population de roseau soit située à proximité immédiate d'un marais pour voir ce dernier envahi par la graminée. En effet, des populations situées un peu plus loin pourraient fournir les diaspores (graines) nécessaires à son établissement. Des données génétiques prélevées dans la baie de Chesapeake (Maryland, États-Unis) indiquent que les graines de roseau peuvent se

disséminer jusqu'à une distance de 5 km, même si la très grande majorité de celles-ci ne sont transportées par le vent et l'eau que sur au plus 1 km (McCormick et collab., 2010).

Il n'en demeure pas moins que ce sont les bordures de route qui ont fourni, au Québec, les habitats les plus propices au roseau et à sa propagation. Empêcher son établissement dans les fossés routiers à proximité des marais constitue une approche prudente de prévention des invasions dans les milieux naturels. La plantation dans les fossés de drainage de plantes compétitrices (arbustes comme le saule (*Salix* spp.) et l'aulne (*Alnus incana* subsp. *rugosa*) faisant ombrage au roseau et nuisant à l'établissement de la graminée par graines ou par voie végétative fait présentement l'objet de tests dans le sud du Québec (Groupe Phragmites, 2012). Si les résultats sont positifs, la plantation d'arbustes à proximité des marais voisinant les autoroutes pourrait représenter une option relativement peu coûteuse et non dommageable pour l'environnement pour freiner les invasions de roseau.

### Remerciements

Ce travail a été financé par un contrat de recherche avec le ministère des Transports du Québec et par une subvention du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. L'aide de terrain et en laboratoire fournie par Patricia Gagnon, Julie Labbé, Daniel Lachance, Catherine Plasse et Pascale Ropars a été fort appréciée. ◀

### Références

ALBERT, A., J. BRISSON, J. DUBÉ et C. LAVOIE, 2013. Do woody plants prevent the establishment of common reed along highways? Insights from southern Quebec. *Invasive Plant Science and Management*, 6 (sous presse).

ASAEDA, T., L. RAJAPAKSE, J. MANATUNGE et N. SAHARA, 2006. The effect of summer harvesting of *Phragmites australis* on growth characteristics and rhizome resource storage. *Hydrobiologia*, 553 : 327-335.

BART, D. et J.M. HARTMAN, 2003. The role of large rhizome dispersal and low salinity windows in the establishment of common reed, *Phragmites australis*, in salt marshes: new links to human activities. *Estuaries*, 26 : 436-443.

BEDFORD, A.P., 2005. Decomposition of *Phragmites australis* litter in seasonally flooded and exposed areas of a managed reedbed. *Wetlands*, 25 : 713-720.

BELZILE, F., J. LABBÉ, M.-C. LEBLANC et C. LAVOIE, 2010. Seeds contribute strongly to the spread of the invasive genotype of the common reed (*Phragmites australis*). *Biological Invasions*, 12 : 2 243-2 250.

BRISSON, J., É. PARADIS et M.-È. BELLAVANCE, 2008. Evidence of sexual reproduction in the invasive common reed (*Phragmites australis* subsp. *australis*; Poaceae) in eastern Canada: a possible consequence of global warming? *Rhodora*, 110 : 225-230.

BRISSON, J., S. DE BLOIS et C. LAVOIE, 2010. Roadside as invasion pathway for common reed (*Phragmites australis*). *Invasive Plant Science and Management*, 3 : 506-514.

BURDICK, D.M., R. BUCHSBAUM et E. HOLT, 2001. Variation in soil salinity associated with expansion of *Phragmites australis* in salt marshes. *Environmental and Experimental Botany*, 46 : 247-261.

FARNSWORTH, E.J. et L.A. MEYERSON, 1999. Species composition and inter-annual dynamics of a freshwater tidal plant community following removal of the invasive grass, *Phragmites australis*. *Biological Invasions*, 1 : 115-127.

GRUPE PHRAGMITES, 2012. Le roseau envahisseur: la dynamique, l'impact et le contrôle d'une invasion d'envergure. *Le Naturaliste canadien*, 136 (2) : 33-39.

- HASLAM, S.M., 1972. *Phragmites communis* Trin. (*Arundo phragmites* L., ? *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel). *Journal of Ecology*, 60: 585-609.
- HUDON, C., P. GAGNON et M. JEAN, 2005. Hydrological factors controlling the spread of common reed (*Phragmites australis*) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Écoscience*, 12: 347-357.
- JODOIN, Y., C. LAVOIE, P. VILLENEUVE, M. THÉRIAULT, J. BEAULIEU et F. BELZILE, 2008. Highways as corridors and habitats for the invasive common reed *Phragmites australis* in Quebec, Canada. *Journal of Applied Ecology*, 45: 459-466.
- KELLER, B.E.M., 2000. Plant diversity in *Lythrum*, *Phragmites*, and *Typha* marshes, Massachusetts, U.S.A. *Wetlands Ecology and Management*, 8: 391-401.
- LAVOIE, C., M. JEAN, F. DELISLE et G. LÉTOURNEAU, 2003. Exotic plant species of the St. Lawrence River wetlands: a spatial and historical analysis. *Journal of Biogeography*, 30: 537-549.
- LEBLANC, M.-C., S. de BLOIS et C. LAVOIE, 2010. The invasion of a large lake by the Eurasian genotype of common reed: the influence of roads and residential construction. *Journal of Great Lakes Research*, 36: 554-560.
- LELONG, B., C. LAVOIE, Y. JODOIN et F. BELZILE, 2007. Expansion pathways of the exotic common reed (*Phragmites australis*): a historical and genetic analysis. *Diversity and Distributions*, 13: 430-437.
- LENSSSEN, J.P.M., F.B.J. MENTING, W.H. VAN DER PUTTEN et C.W.P.M. BLOM, 2000. Variation in species composition and species richness within *Phragmites australis* dominated riparian zones. *Plant Ecology*, 147: 137-146.
- MAHEU-GIROUX, M. et S. de BLOIS, 2007. Landscape ecology of *Phragmites australis* invasion in networks of linear wetlands. *Landscape Ecology*, 22: 285-301.
- MAL, T.K. et L. NARINE, 2004. The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. *Canadian Journal of Plant Science*, 84: 365-396.
- MCCORMICK, M.K., K.M. KETTENRING, H.M. BARON et D.F. WHIGHAM, 2010. Extent and reproductive mechanisms of *Phragmites australis* spread in brackish wetlands in Chesapeake Bay, Maryland (USA). *Wetlands*, 30: 67-74.
- MEYERSON, L.A., K. SALTONSTALL, L. WINDHAM, E. KIVIAT et S. FINDLAY, 2000. A comparison of *Phragmites australis* in freshwater and brackish marsh environments in North America. *Wetlands Ecology and Management*, 8: 89-103.
- MINCHINTON, T.E., 2006. Rafting on wrack as a mode of dispersal for plants in coastal marshes. *Aquatic Botany*, 84: 372-376.
- MINCHINTON, T.E. et M.D. BERTNESS, 2003. Disturbance-mediated competition and the spread of *Phragmites australis* in a coastal marsh. *Ecological Applications*, 13: 1 400-1 416.
- OSGOOD, D.T., D.J. YOZZO, R.M. CHAMBERS, D. JACOBSON, T. HOFFMAN et J. WNEK, 2003. Tidal hydrology and habitat utilization by resident nekton in *Phragmites* and non-*Phragmites* marshes. *Estuaries*, 26: 522-533.
- PAGTER, M., C. BRAGATO et H. BRIX, 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 81: 285-299.
- PHILIPP, K.R. et R.T. FIELD, 2005. *Phragmites australis* expansion in Delaware Bay salt marshes. *Ecological Engineering*, 25: 275-291.
- RICE, D., J. ROTH et J.C. STEVENSON, 2000. Colonization and expansion of *Phragmites australis* in upper Chesapeake Bay tidal marshes. *Wetlands*, 20: 280-299.
- RICKEY, M.A. et R.C. ANDERSON, 2004. Effects of nitrogen addition on the invasive grass *Phragmites australis* and a native competitor *Spartina pectinata*. *Journal of Applied Ecology*, 41: 888-896.
- ROOTH, J.E., J.C. STEVENSON et J.C. CORNWELL, 2003. Increased sediment accretion rates following invasion by *Phragmites australis*: the role of litter. *Estuaries*, 26: 475-483.
- SALTONSTALL, K., 2002. Cryptic invasion by a non-native genotype of the common reed, *Phragmites australis*, into North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99: 2 445-2 449.
- SPSS INC., 2003. SPSS, version 12.0. SPSS Inc., Chicago.
- TADDEO, S. et S. DE BLOIS, 2012. Coexistence of introduced and native common reed (*Phragmites australis*) in freshwater wetlands. *Écoscience*, 19: 99-105.
- VASQUEZ, E.A., E.P. GLENN, J.J. BROWN, G.R. GUNTENSPERGEN et S.G. NELSON, 2005. Salt tolerance underlies the cryptic invasion of North American salt marshes by an introduced haplotype of the common reed *Phragmites australis* (Poaceae). *Marine Ecology Progress Series*, 298: 1-8.
- WHITE, D.A., D.P. HAUBER et C.S. HOOD, 2004. Clonal differences in *Phragmites australis* from the Mississippi River Delta. *Southeastern Naturalist*, 3: 531-544.
- WILCOX, K.L., S.A. PETRIE, L.A. MAYNARD et S.W. MEYER, 2003. Historical distribution and abundance of *Phragmites australis* at Long Point, Lake Erie, Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 29: 664-680.
- WINDHAM, L. et R.G. LATHROP, JR, 1999. Effects of *Phragmites australis* (common reed) invasion on aboveground biomass and soil properties in brackish tidal marsh of the Mullica River, New Jersey. *Estuaries*, 22: 927-935.

**PARTENAIRE DES PROJETS DES**



April



Tremblay



Michaud



**Desjardins**

Caisse de l'Héritage des Basques

**Siège social**

80, rue Notre-Dame Ouest, Trois-Pistoles  
Tél. : 418 851-2173 • 1 866 444-5033

**Centres de services**

• Rivière Trois-Pistoles  
• Saint-Simon

**Des nouvelles heures adaptées à vos besoins**

Lundi 9 h à 17 h  
Mardi au jeudi 9 h à 20 h  
Vendredi 9 h à 16 h  
Samedi\* 9 h à 15 h

\* Le service du samedi est offert à la place d'affaires de Val-Bélair

**2 PLACES D'AFFAIRES**

1638, rue Notre-Dame  
L'Ancienne-Lorette (Québec) G2E 3B6  
1095, boulevard Pie-XI Nord  
Québec (Québec) G3K 2S7

**UN SEUL NUMÉRO : 418 872-1445**

[www.desjardins.com/caisse-piemont-laurentien](http://www.desjardins.com/caisse-piemont-laurentien)

facebook



**Desjardins**

Caisse populaire du Piémont Laurentien

# L'anax précoce au Québec : une libellule migratrice

Michel Savard

## Résumé

Dans le cadre des travaux du Migratory Dragonfly Partnership, les limites nord des aires de dispersion et de reproduction de l'anax précoce (*Anax junius*) au Québec ont été mises à jour à partir de la documentation scientifique et des données inédites des participants à l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec. Chaque année, dans les basses terres de l'Outaouais et du Saint-Laurent, les premiers adultes immigrants des États-Unis se montrent en mai, exceptionnellement à la fin avril. L'espèce est occasionnellement rapportée dans les contreforts laurentiens et appalachiens de même que dans les régions habitées situées plus au nord du 47<sup>e</sup> parallèle, sans apparemment dépasser le 50<sup>e</sup> parallèle le long des côtes de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent. L'émergence de populations estivantes de naïades se produit régulièrement dans la zone tempérée feuillue entre la mi-août et le début octobre tandis que l'émergence de populations hivernantes de naïades s'observe rarement en juin ou au début juillet dans l'extrême sud du Québec. Dans la zone tempérée mixte, des émergences peuvent se produire dans l'enclave bioclimatique du Témiscouata et fort possiblement dans celle du Saguenay-Lac-Saint-Jean. D'après le modèle climatique de Gérardin et McKenney (2001), la limite nord de reproduction de l'anax précoce pourrait atteindre le 49<sup>e</sup> parallèle, suivant l'isotherme de 15,7°C pour les 3 mois les plus chauds. Il semble peu probable que l'anax précoce puisse compléter un cycle vital dans la zone boréale, par exemple à l'île d'Anticosti. L'impact des changements climatiques devrait se manifester sur la précocité de l'arrivée printanière des adultes immigrants et sur l'augmentation de la fréquence des émergences de populations hivernantes et estivantes de naïades.

MOTS CLÉS : *Anax junius*, dispersion, émergence, migration, Odonata

## Abstract

The northern limits for Québec of the dispersion and breeding ranges of the common green darner (*Anax junius*) were updated during work for the Migratory Dragonfly Partnership. The new limits presented are based on scientific literature and previously unpublished data from the Québec Dragonfly Atlas Initiative. Each year, the first adults arriving from the United States of America are reported from the lowlands of the Outaouais and St. Lawrence rivers in May, and exceptionally in late April. The species is also occasionally reported from the Laurentian and Appalachian foothills, and from inhabited areas along the shores of the Estuary and the Gulf of the St. Lawrence River between the 47<sup>th</sup> and 50<sup>th</sup> parallels north. In the extreme southern part of Québec, the emergence of overwintering populations is occasionally observed in June or early July. In the temperate deciduous region of the province, the emergence of summer populations regularly occurs from mid-August to early October. In the temperate mixed region found in the Témiscouata area, emergences may occur and this might also be the case in the Saguenay-Lac-Saint-Jean area. According to the climate model proposed by Gérardin and McKenney (2001), the northern limit of the breeding range of the common green darner could reach the 49<sup>th</sup> parallel, following the 15.7°C isotherm for the warmest three summer months. Therefore, it seems unlikely that this species is able to complete its life cycle in boreal regions, such as on Anticosti Island. Climate change could be marked by an earlier arrival of immigrant adults in the spring, and by an increase in the frequency of the emergence of overwintering and summer populations of naiads.

KEYWORDS: *Anax junius*, dispersion, emergence, migration, Odonata

## Introduction

L'anax précoce (*Anax junius*) est souvent la première et la seule grande libellule que nous remarquons en vol au début du mois de mai dans le sud du Québec (figure 1). Il s'agit obligatoirement d'immigrants provenant approximativement du centre ou du sud des États-Unis, car les populations plus au nord et qui hivernent au Canada ne prennent leur envol qu'à partir de la fin juin ou en juillet. En odonatologie, nous évoquons une « migration » lorsqu'une population de libellules quitte l'habitat où l'émergence a eu lieu et qu'elle se déplace sur une longue distance dans un nouvel habitat pour se reproduire. Les migrants de l'anax précoce recherchent des plans d'eau ouverts, notamment des mares de sablière, des

bas-fonds inondés, des méandres ou des étangs artificiels ou restaurés, colonisés par une végétation émergente clairsemée. Ils s'accouplent et y pondent leurs œufs bien avant les espèces résidentes. Le développement des naïades – terme utilisé pour désigner les nymphes adaptées à la vie aquatique chez les Odonates, Éphémères et Plécoptères – s'étale sur une

*Michel Savard est président d'Entomofaune du Québec et il coordonne l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec. Il travaille comme professionnel en santé environnementale à l'Agence de la santé et des services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean.*

*michel.savard@sss.gouv.qc.ca*



Guy Lemelin



Alain Dubuc

Figure 1. L'anax précoce (*Anax junius*): A. Mâle migrateur le 6 juin 2009 à Pintendre, Lévis; B. Ponte en tandem le 20 juillet 2012 à l'île Bizard, Montréal.

période de 3 à 4 mois, selon la température de l'eau. Les adultes, ou imagos, émergent ultimement à la fin de l'été ou au début de l'automne, car les naïades qui ont complété leur croissance ne pourront pas passer l'hiver sous nos latitudes. Les jeunes adultes décolorés, qualifiés de ténéraux, profitent alors des thermales pour s'élever haut dans le ciel et se laisser emporter par les vents frontaux de systèmes météorologiques dépressionnaires. Ces ténéraux forment parfois des masses spectaculaires évoluant le long des côtes de l'Atlantique et des Grands Lacs, soutenant un vol directionnel vers le sud, comme chez les oiseaux de proie en migration. Lors de tempêtes d'équinoxe, ils peuvent même atteindre les côtes européennes !

Ce portrait, inspiré des synthèses de Corbet (1999) et May (2013), résume cette fascinante épopée pour une libellule ayant la capacité de se déplacer sur de longues distances. Ce phénomène biologique demeure mal compris. S'agit-il d'une simple dispersion tous azimuts, au gré des vents, permettant l'établissement de populations temporaires vers le nord, ou d'un véritable comportement migrateur acquis, pouvant s'apparenter à celui du monarque (*Danaus plexippus*)? Des odonatologistes se sont récemment regroupés (Migratory Dragonfly Partnership, 2013) pour élucider ce phénomène qui s'observe aussi chez d'autres espèces traditionnellement considérées comme migratrices, telles les pantales (*Pantala spp.*) et les traméas (*Tramea spp.*), qui atteignent le Québec en été. Ils font ainsi appel aux nouvelles techniques d'analyses génétiques et chimiques en laboratoire, mais aussi aux observateurs, entomologistes comme ornithologues amateurs, pour la surveillance des mouvements printaniers d'adultes immigrants et des vols groupés d'individus ténéraux en automne.

Cet article s'inscrit dans cette démarche scientifique en synthétisant l'état des connaissances sur la phénologie de la reproduction de l'anax précoce au Québec et sur sa limite nord de répartition. Cette synthèse s'appuie sur le dépouillement de la documentation scientifique, la compilation de données inédites fournies par les participants à l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec et sur une enquête sur la perception de l'abondance de l'espèce auprès d'observateurs d'expérience. Pour chaque localité indiquée dans le texte, la latitude nord est précisée entre crochets. Pour certaines mentions historiques, des vérifications ont été faites avec le concours de Louise Cloutier (Collection Ouellet-Robert de l'Université de Montréal), Raymond Hutchinson (Collection nationale canadienne et notes personnelles) et Jean-Marie Perron (Collection de l'Université Laval et notes personnelles). La subdivision géographique et bioclimatique du Québec utilisée pour l'analyse (figure 2) est adaptée de Savard (2011).

### Chronologie des connaissances sur l'anax précoce

La publication de *L'Atlas préliminaire des libellules du Québec* fournit une cartographie des données publiées jusqu'en 2009 sur l'espèce et fait état des lacunes évidentes dans l'inventaire des odonates pour couvrir l'ensemble du vaste territoire québécois (Savard, 2011). On peut en tirer une chronologie des connaissances acquises sur la répartition et la période de vol de l'anax précoce au Québec.

### Au temps des pionniers

La présence de l'anax précoce au Québec est connue depuis les activités des premiers naturalistes qui

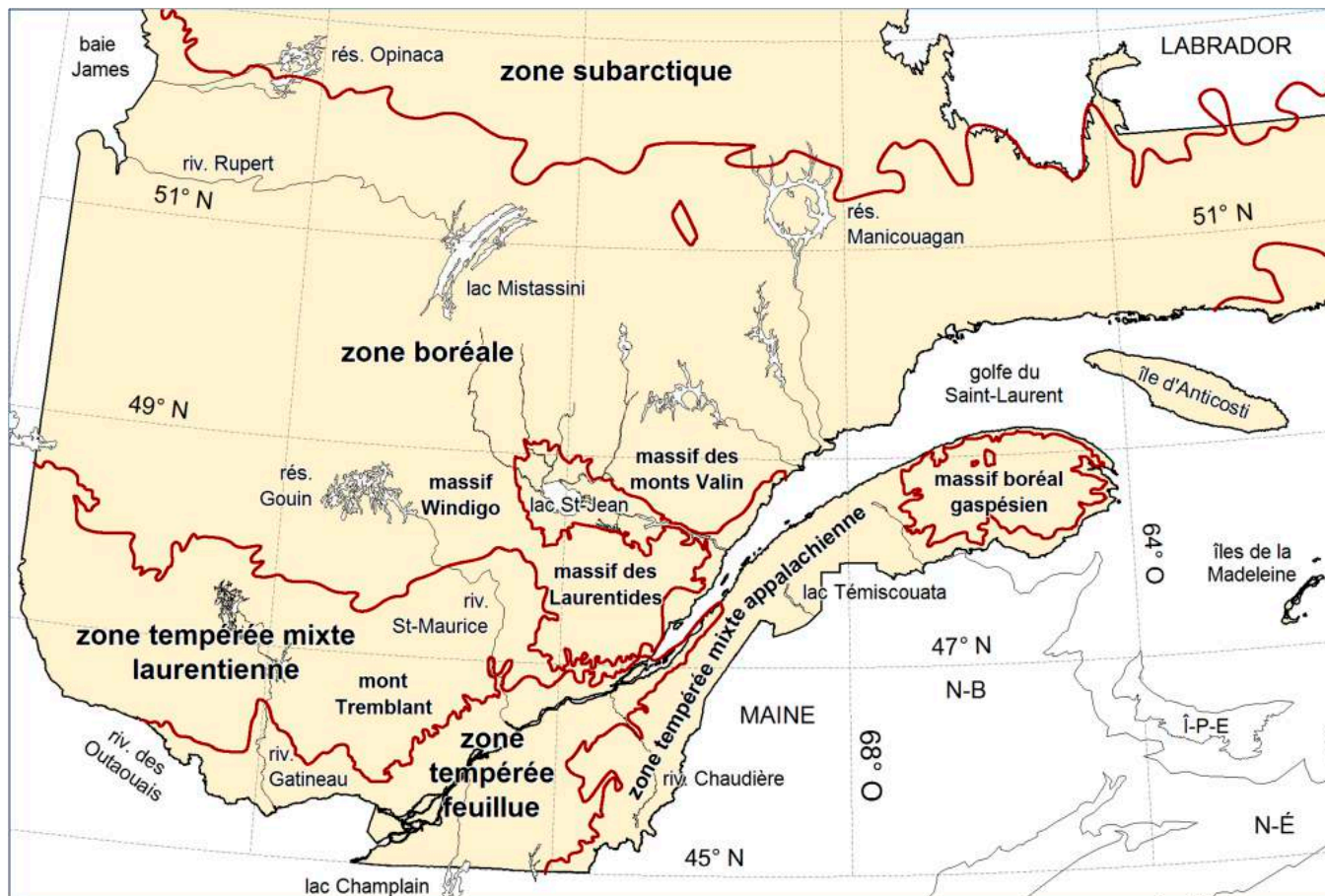


Figure 2. Subdivision géographique et bioclimatique du Québec méridional utilisée pour l'analyse de la situation actuelle de l'anax précoce.

se sont intéressés aux odonates. Dans la documentation entomologique, la première mention revient à l'abbé Léon Provancher qui ajoute cette espèce à sa liste des « Névroptères de la province de Québec », après avoir capturé un mâle vers 1877 à Saint-Hyacinthe [45,62°N] dans les basses terres du Saint-Laurent (Provancher, 1878; figure 3). En complément, le révérend Thomas W. Fyles signale, en 1900, un couple hors de portée de main, évoluant au-dessus d'une nappe d'eau située près de l'ancien Fort n° 2 à Lévis [46,80°N] (Fyles, 1901). En examinant la collection personnelle de Fyles, Edmund M. Walker détermine un spécimen prélevé dans la mare à Pompon (parfois désignée « Mer de Papon »; Guy Lemelin, communication personnelle) située près du Fort n° 1 à Lauzon [46,82°N] (Fyles, 1915). Dans sa liste préliminaire, Edmund M. Walker rapporte l'espèce en 1933 à Wakefield [45,64°N] dans la vallée de la Gatineau du 24 au 28 juin selon ses propres récoltes, puis il ajoute les captures de 3 collaborateurs : celle hâtive par H.L. Viereck le 11 mai 1925 à Aylmer [ville de Gatineau; 45,40°N], une capture par G.S. Walley le 28 juin 1927 à Kazabazua [45,95°N], située à 60 km plus au nord, et une capture par Gustave Chagnon le 17 mai 1933 à Montréal [45,5°N] (Walker, 1934).



Jean-Marie Perron

Figure 3. Spécimen d'anax précoce (*Anax junius*) capturé par l'abbé Léon Provancher vers 1877 à Saint-Hyacinthe [45,62°N], portant le numéro 56 dans la Collection Provancher conservée à l'Université Laval, Québec (Jean-Marie Perron, communication personnelle).



### La contribution du frère Adrien Robert (1936-1960)

À la suite de ses inventaires réalisés au Québec entre 1936 et 1960, le frère Adrien Robert, professeur à l'Institut de biologie générale et de zoologie à l'Université de Montréal, établit la répartition de l'anax précoce le long de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent jusqu'à la hauteur du lac Saint-Pierre, à Maskinongé [46,23°N], non loin de Berthierville (Robert, 1963). Il indique que l'espèce peut à l'occasion s'éloigner de la plaine du Saint-Laurent et pénétrer dans le contrefort des Laurentides, à la latitude de Nominique [lac Laflèche; 46,39°N], du parc national du Mont-Tremblant [46,34°N] et de Sainte-Béatrix [lac Noir; 46,28°N], mais elle se montre alors « beaucoup plus rare » (Robert, 1939; 1963). Le frère Robert ne rapporte pas l'anax plus au nord, à l'occasion de ses expéditions en Abitibi [48,6°N], au Lac-Saint-Jean [48,9°N] et au lac Mistassini [50,4°N] (Robert, 1963). Conformément à Walker (1958), il affirme que « les adultes se rencontrent aux 2 extrémités de la saison chaude, alors qu'au milieu de l'été, soit en juillet et au début août, ils sont absents » (Robert, 1963). Dans une de ses publications (Robert, 1960), ce chercheur précise que « même aux environs de Montréal, ce n'est que par des printemps hâtifs que nous en observons avant le milieu de mai. Généralement, c'est plutôt entre les 20 et 25 mai que nous apercevons les premiers individus ».

### La contribution de Robert Trottier

Dans le cadre de ses études supérieures échelonnées de 1965 à 1972 à l'Université McGill et à l'Université de Toronto, les travaux de recherche fondamentale de Robert Trottier apportent les premières connaissances sur les facteurs écologiques (température, humidité, photopériode) influençant le développement des naïades et leur émergence au Québec et en Ontario (Trottier, 1966ab; 1971; 1973). Par une récolte systématique des exuvies entre mai et octobre 1965, dans un étang naturel dominé par la sagittaire à larges feuilles (*Sagittaria latifolia*) à Sainte-Anne-de-Bellevue [45,25°N], il détermine que la période d'émergence d'une population estivante, c'est-à-dire fondée par des adultes immigrants, culminait après la mi-août dans la plaine de Montréal (figure 4; Trottier, 1966ab). Plus au sud, dans un étang artificiel [43,87°N] situé dans la région de Toronto en Ontario, il découvre en mai une population hivernante de naïades rendues à la moitié de leur croissance, lesquelles émergeront plus tôt (fin juin à la mi-juillet 1967 et 1968) que les naïades de la population estivante (mi-août à la fin septembre 1967; fin août au début octobre 1968) (figure 5).

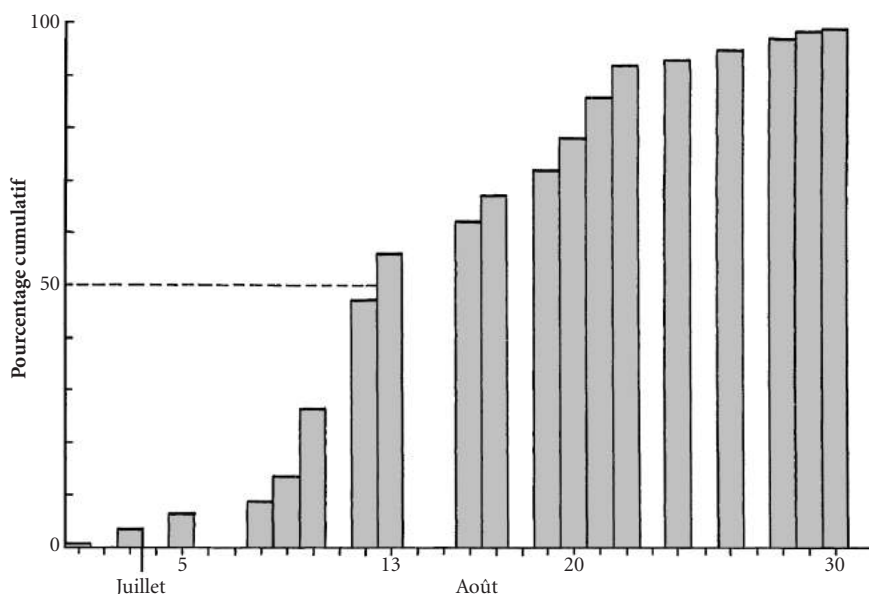


Figure 4. Pourcentage cumulé des récoltes quotidiennes d'exuvies (n = 138) de l'anax précoce à la fin de l'été 1965 à Sainte-Anne-de-Bellevue [45,25°N] (Trottier, 1966a).

### Consolidation entre 1970 et 2000

Dans leur catalogue publié en 1977, Raymond Hutchinson et André Larochelle étendent la répartition connue de l'anax précoce jusqu'à Saint-Romuald [46,76°N] le long de l'axe du fleuve Saint-Laurent, grâce aux contributions du club des Jeunes écologistes du Collège de Lévis qui effectua de 1968 à 1978 des stages sur l'étude des odonates. Cette extension – qui ignore la mention historique de T.W. Fyles – s'appuie sur l'observation de Richard Breton qui récolta 2 naïades à leur dernier stade de développement le 20 octobre 1973, dans un étang colonisé par le prêle fluviatile (*Equisetum fluviatile*; Breton, 1976). Les Jeunes écologistes ont également rapporté l'observation d'adultes à leur camp d'été situé à Saint-Nérée [46,72°N] au bas du contrefort des Appalaches (Jean-Marie Perron, communication personnelle). Sur la foi d'une récolte d'André Larochelle en 1977 (Larochelle, 1978), la date du 30 avril représentait alors le record d'arrivée printanière dans le sud du Québec [ $< 45,57^{\circ}\text{N}$ ]. Contrairement à ce qui avait été avancé par Walker (1958) et Robert (1963), Jean Legault, moniteur au camp de sciences naturelles Rolland-Germain, fait remarquer la présence d'imagos plus d'une fois en juillet et au début août 1971 lors d'inventaires réalisés de 1968 à 1971 dans les environs du mont Le Pinnacle [45,05°N] en Montérégie (Legault, 1975).

Ce portrait de la répartition et de la période de vol connue de l'anax précoce au Québec ne changera pas 20 ans plus tard, avec la publication en 1998 du traité faunistique de Jean-Guy Pilon et Denise Lagacé. Les compilateurs ajoutent une trentaine de localités dans la zone tempérée feuillue du Québec (Pilon et Lagacé, 1998), dont celle de Berthier-sur-Mer [46,92°N], située à une vingtaine de kilomètres au

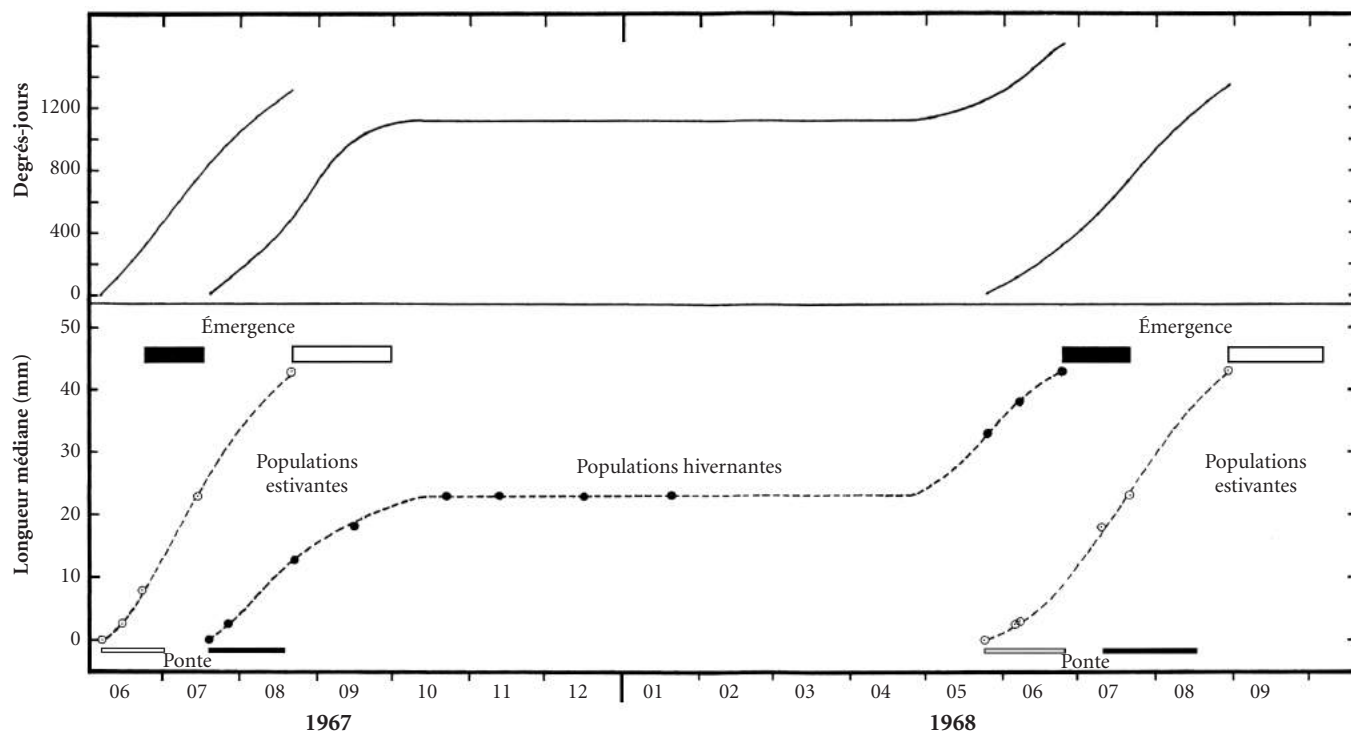


Figure 5. Période de ponté, de croissance des naïades et d'émergence des populations hivernantes (en noir) et des populations estivantes (en blanc) de l'anax précoce en 1967 et 1968 aux environs de Toronto [43,87°N], en relation avec le nombre cumulatif de degrés-jours au-dessus du seuil de température à la surface de l'eau de 8,7 °C (Trottier, 1973).

nord de Saint-Nérée, selon l'examen de spécimens conservés dans la collection de l'Université Laval (2 femelles et 1 mâle) et récoltés le 30 août 1947 par le lépidoptériste Jean-Paul Laplante (Jean-Marie Perron, communication personnelle). Sous la supervision de Raymond Hutchinson, les récoltes de 1973 à 1981 effectuées par les stagiaires du camp d'écologie Saint-Viateur à Port-au-Saumon ne rapportent pas l'espèce plus au nord, dans le comté de Charlevoix [47,68–48,00°N] (Hutchinson, 1992). Dans le contrefort des Laurentides, où l'anax se fait rare selon Robert (1963), Marie-Andrée Lebuis ne relève pas l'espèce lors de ses études écologiques en 1969 et 1970 sur le territoire de la station de biologie de l'Université de Montréal à Saint-Hippolyte [46,0°N] (Lebuis et Pilon, 1976) ni Jean-Guy Pilon lors de récoltes antérieures effectuées de 1965 à 1967 (Pilon et Lebuis, 1976). Dans le contrefort des Appalaches, en Estrie, l'espèce y est mentionnée pour la première fois par Donald F.J. Hilton, alors attaché au Département des sciences biologiques de l'Université Bishop's, lors d'un inventaire réalisé en 1980 à la tourbière de Johnville [45,35°N]. Il précise que seulement des adultes matures sont observés, à partir de la mi-juin, et que leur nombre diminue graduellement à la fin juillet et en août (Hilton, 1981). Pour sa part, Claude Sylvestre ne rapporte pas l'espèce dans ce secteur vallonné des Appalaches après 3 années d'inventaires systématiques réalisés de 1971 à 1973 dans plusieurs sites avoisinant la tête du lac Memphrémagog [ $< 45,48^{\circ}\text{N}$ ] (Pilon et Sylvestre, 1984).

Dans la plaine de Montréal, d'après 2 années de récoltes systématiques à Blainville [45,40°N], Jean-Guy Pilon et ses

collaborateurs (Pilon et collab., 1993) fournissent des indices d'abondance pour établir la période de vol de l'anax, sans toutefois préciser le stade de maturité: les imagos apparaissent à la mi-mai et demeurent bien présents jusqu'au début août, suivi d'une faible abondance à la mi-septembre (figure 6).

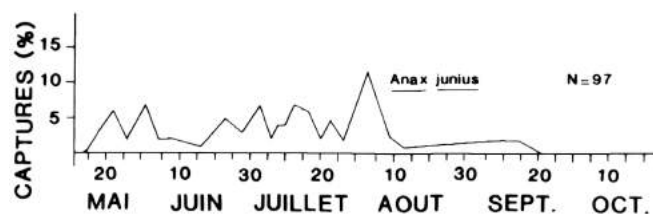


Figure 6. Période de vol de l'anax précoce à Blainville [45,40°N], plaine de Montréal (Pilon et collab., 1993).

À l'extrémité nord-est des basses terres du Saint-Laurent, l'émergence de l'anax précoce en conditions naturelles est confirmée par Jean-Marie Perron et ses collaborateurs qui surveillent, à partir de 1995, l'évolution de l'odonatofaune du marais Léon-Provancher à Neuville [46,72°N]. Depuis la mise en eau d'étangs aménagés pour la reproduction de canards en 1996, ils relèvent chaque année la présence d'adultes de l'anax précoce (Perron et Jobin, 2000) et récoltent des exuvies entre le 28 août et le 20 octobre, dont l'observation directe d'exuviations les 1<sup>er</sup> et 2 octobre 2000 (Perron et Ruel, 2001; Jean-Marie Perron, communication personnelle). Après 6 ans de surveillance (1996-2001), le 21 mai représente la date

d'arrivée printanière la plus hâtive pour ce site en bordure du fleuve Saint-Laurent (Perron et Ruel, 2002).

### **Surprise à l'île d'Anticosti en 2004**

À l'occasion d'un inventaire des odonates à l'île d'Anticosti en 2004, Christophe Buidin et Yann Rochepault rapportent une importante extension de l'aire de répartition connue de l'anax précoce au Québec, de l'ordre de 600 km depuis Berthier-sur-Mer dans l'axe nord-est du fleuve Saint-Laurent ou de 300 km au nord des côtes du Nouveau-Brunswick (Buidin et Rochepault, 2007). Ils observent des mâles adultes en patrouille du 30 juillet au 20 août, dont au moins 3 individus à la pointe Ouest [49,86°N] et 1 individu au lac aux Huarts [49,35°N]. Pour atteindre l'île d'Anticosti, la distance minimale à parcourir en pleine mer est de 72 km entre la pointe de l'anse au Griffon de la péninsule gaspésienne et la pointe du sud-ouest de l'île.

L'espèce peut franchir une distance encore plus considérable au-dessus de l'eau, puisqu'une population de naïades a été découverte le 15 juillet 1967 sur l'île de Sable [43,96°N; -60,00°O] à environ 180 km au large de la Nouvelle-Écosse (Howden et collab., 1970), qu'elle a été aperçue le 27 juillet 2007 dans l'archipel français de Saint-Pierre-et-Miquelon [île Langlade; 46,8°N; -56,1°O], où « elle semble assez fréquente » selon Patrick Boër (Hindermeyer et collab., 2007), et qu'elle peut même exceptionnellement traverser l'océan Atlantique lors de tempêtes d'équinoxe et ainsi se retrouver en septembre-octobre sur les côtes de l'Angleterre (Davey, 1999; Pellew, 1999; May, 2013) et de la Loire-Atlantique en France (Meurgey et Perron, 2004). L'inventaire des odonates réalisé de 1999 à 2004 en Minganie continentale [50,23°N] n'a cependant pas révélé la présence de l'espèce sur cette côte au Québec (Buidin et Rochepault, 2007), ni par après (Christophe Buidin, communication personnelle).

### **Premiers questionnements sur l'hivernage possible de naïades au Québec**

Tout près de la frontière du Québec, dans 3 localités du nord-est de l'Ontario [44,22°–45,23°N], Paul M. Catling découvre entre la mi-avril et le début mai 2002 des naïades rendues à moitié et plus de leur taille définitive. Il constate qu'au moins 200 individus ont émergé entre le 6 et le 23 juin au site d'Embrun [45,23°N], étendant ainsi à la latitude de Montréal la limite nord d'émergence de populations hivernantes (Catling, 2003).

Les inventaires effectués en 2000 et 2001 au parc écologique du Mont Shefford [45,34°N] (Jobin et Perron, 2004), de 2002 à 2004 au parc national de la Yamaska [45,43°N] (Perron et collab., 2005) et en 2011 à Saint-Joachim-de-Shefford [45,44°N] (Mochon, 2012) documentent la période de vol de l'anax précoce en Montérégie, où les adultes migrateurs apparaissent dès la mi-mai pour pondre leurs œufs. Les premiers individus ténéraux sont aperçus à la mi-juillet, lesquels, à cette date, pourraient provenir de populations hivernantes locales ou situées près des frontières. Mais le plus grand nombre de

ténéraux est noté plus tard, à la fin d'août, dont 6 exuviations le 20 août, et les derniers à la mi-septembre (Perron et collab., 2005). Il s'agit d'une phénologie comparable à celle rapportée pour la plaine de Montréal (Trottier, 1966ab; Pilon et collab., 1993) et le nord-est de l'Ontario (Catling, 2003).

### **Observations inédites**

Dans le cadre de l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec (Savard, 2010), de nouvelles données et des mentions antérieures inédites viennent préciser la répartition et la période de vol de l'anax précoce au Québec, notamment dans les régions à l'est de la longitude de 72° Ouest (figure 7).

### **Confirmation de l'hivernage de naïades au sud du Québec**

En zone tempérée feuillue, l'émergence d'une population hivernante de naïades au Québec est pour la première fois confirmée en 2013 à Gatineau en Outaouais. À sa première saison consacrée à la récolte hebdomadaire d'exuvies au marais Lamoureux [45,38°N] – un plan d'eau retenu par un barrage de castor – Caroline Piché (observatrice) trouva, dans un peuplement de rubaniers à gros fruits (*Sparganium eurycarpum*), 2 exuvies le 27 et le 30 juin respectivement (figures 8 et 9). Lors de ces journées, 2 à 5 mâles matures patrouillaient les rives du marais, mais aucun envol imaginal ou individu ténéral ne fut observé. Le 5 juin de la même année, à 19 km au nord-ouest de ce site, une naïade au terme de son développement avait aussi été pêchée dans le lac Beauchamp [45,49°N] par Raymond Hutchinson et Caroline Piché (observateurs), représentant une autre indication que des naïades de l'anax précoce peuvent survivre à l'hiver et terminer leur croissance au printemps dans l'extrême sud du Québec.

### **Nouvelles observations en Mauricie et en Estrie**

En Mauricie, Pierrette Charest (observatrice) avait l'habitude de noter la première observation annuelle d'individus immigrants de l'anax précoce dans une mare de sablière située près de sa résidence, dans le secteur Saint-Louis-de-France, à Trois-Rivières [46,41°N]. Sur 5 ans, la date moyenne d'observation de l'arrivée printanière à cette latitude est le 21 mai ( $\pm 9$  jours, soit les 31, 22, 24, 4 mai 2006-2009 et 25 mai 2011), conformément aux affirmations du frère Robert (1960). À une occasion, en septembre 2008, l'observatrice a surveillé l'émergence d'une petite population estivante de naïades, à partir de 105 jours après l'observation des premiers adultes migrateurs (figure 10).

Au sud-est de la région naturelle des Appalaches, en Estrie, la présence d'individus migrateurs semble effacée mais régulière, des émergences ont également été constatées en 2012. Roxanne Sarah Bernard (observatrice) rapporte de nouveau l'espèce à la tourbière de Johnville [45,35°N], avec un individu en vol le 12 mai 2012. En 2013, au marais de la Rivière aux Cerises [45,28°N], à Magog, elle a observé un premier mâle le 1<sup>er</sup> juin et une dizaine de mâles matures en patrouille et 2 femelles en alimentation le 6 août (Bernard, 2013). Philippe

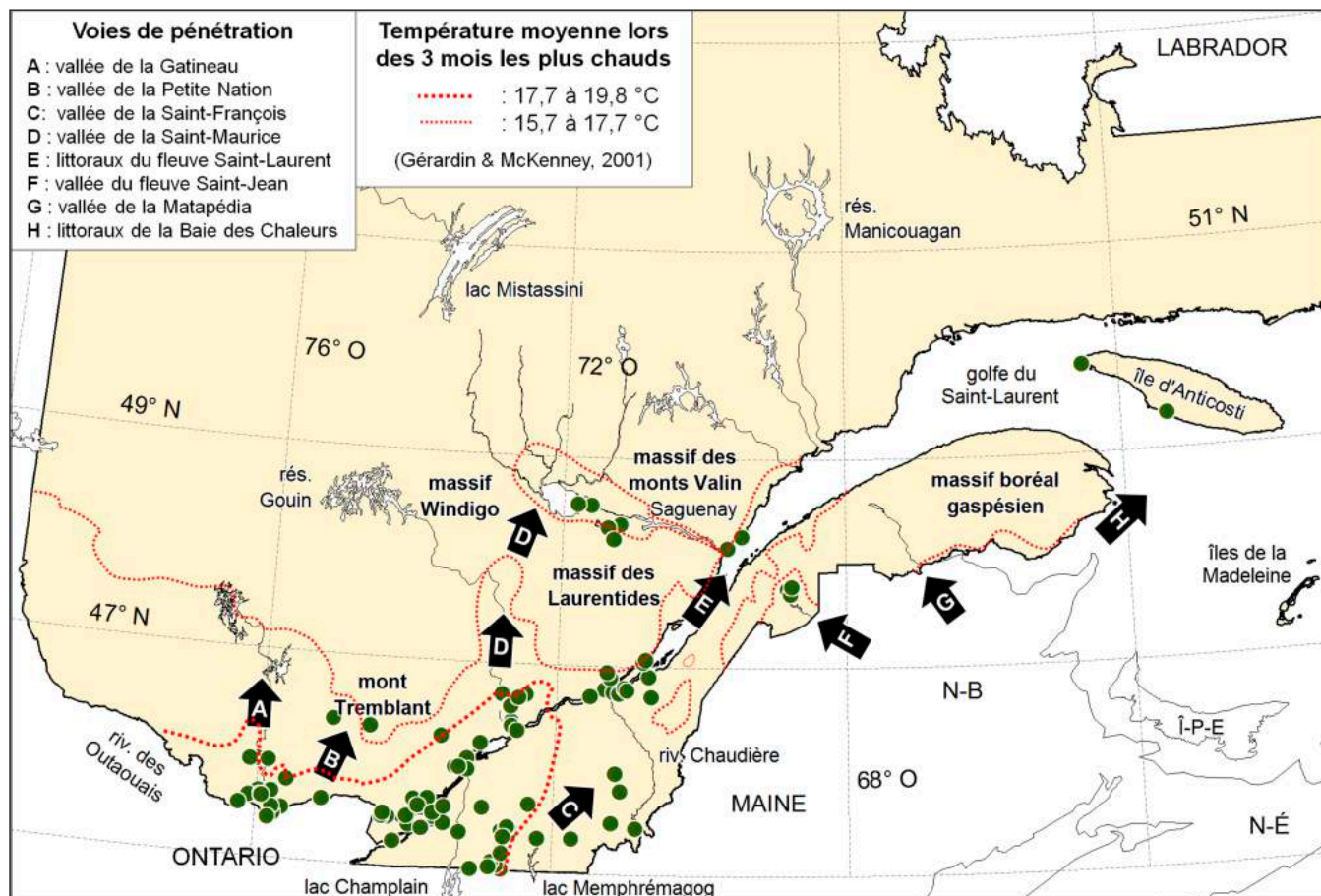


Figure 7. Mise à jour de la répartition connue de l'anax précoce au Québec, selon les données publiées jusqu'en 2009 (Savard, 2011) et celles révisées et récentes soumises dans le cadre de l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec ainsi que les voies présumées de pénétration à l'intérieur des terres.

Poulin ne rapporte que 2 mâles au lac Saint-François lors de son inventaire réalisé au printemps 2011 dans le parc national de Frontenac (Poulin, 2011) : 1 individu en vol le 6 juin à Saint-Romain [baie des Rochers; 45,80°N] et 1 autre en vol le 9 juin à Saint-Méthode-de-Frontenac [baie aux Rats-Musqués; 45,98°N]. Alain Mochon (observateur) observe, le 20 août 2012, 1 mâle patrouillant les méandres de la rivière Bergeron [45,45°N] se jetant à la tête du lac Mégantic, à Piopolis. Dans le parc national du Mont-Orford, Roxanne Sarah Bernard et Mario Comtois (observateurs) notent la présence d'un adulte ainsi que l'émergence de 2 femelles à l'étang Martin [45,34°N], le 19 août 2012. Plus à l'est, à Scotstown, l'émergence de 2 femelles est observée et photographiée par Alain Mochon (observateur) le 14 septembre 2012 au marécage des Scots [45,50°N], situé au pied du mont Mégantic.

**Limite nord de reproduction observée**

Des émergences associées à des populations de naïades estivantes ont été signalées jusqu'à Lévis, dans Chaudière-Appalaches, alors que Guy Lemelin (observateur) photographie une exuviation le 9 août 2007 à Pintendre [46,75°N]. Un peu plus au nord, des migrateurs printaniers ont été observés dans la réserve nationale de faune du Cap-Tourmente [47,08°N], région

de la Capitale-Nationale, dont un mâle noté par Guy Lemelin (observateur) le 2 juin 2007 ainsi que 2 mâles et 1 femelle dénombrés par Peter Lane (observateur) le 25 mai 2010.

La seule mention d'émergence en zone tempérée mixte a été notée dans la région du Bas-Saint-Laurent. Noémi Lambert et l'auteur (observateurs) surprennent un envol imaginal et récupèrent l'exuvie le 2 septembre 2012 au lac à Foin [47,77°N] dans le parc national du Lac-Témiscouata, situé à la tête du bassin versant du fleuve Saint-Jean (figure 11). Il s'agit du site d'émergence le plus nordique connu dans l'est de l'Amérique du Nord. La même année dans ce parc, 2 mâles solitaires avaient été capturés en patrouille le 30 juin, respectivement en bordure du Grand lac Touladi [47,72°N] et du Petit lac Touladi [47,79°N] (Mario Comtois, Michel Cournoyer, Karole Tremblay, Noémi Lambert et l'auteur; observateurs). L'année suivante, le 15 août 2013, au hasard d'une randonnée en canot sur le Petit lac Touladi, Alain Mochon (observateur) récolta dans le secteur Les Îles [47,77°N] une exuvie accrochée à la végétation émergente (identification par l'auteur). La vallée du fleuve Saint-Jean représente une voie de pénétration naturelle qui favoriserait vraisemblablement la dispersion de l'anax précoce depuis le Nouveau-Brunswick jusque dans l'enclave du Témiscouata au Québec.



Caroline Piché

Figure 8. Exuvie d'un anax précoce trouvée par Caroline Piché (observatrice) le 27 juin 2013 sur la feuille d'un rubanier à gros fruits (*Sparganium eurycarpum*) dans le marais Lamoureux [45,38°N], à Gatineau, en Outaouais.

Plus à l'ouest, dans l'enclave bioclimatique du Saguenay–Lac-Saint-Jean, les 2 femelles ténérales capturées par Karole Tremblay (observatrice) les 18 et 22 septembre 2011 à Lac-Kénogami [48,34°N et 48,23°N], au Saguenay, pouvaient provenir d'émergences locales. L'observatrice captura au printemps suivant une femelle adulte le 31 mai 2012 à l'île Connelly [48,56°N] au Lac-Saint-Jean, à une date suffisamment hâtive à cette latitude pour théoriquement compléter un cycle vital avant l'hiver. Il y a une trentaine d'années dans cette même région, lors d'une journée printanière exceptionnellement chaude (30°C) et ensoleillée, alors qu'aucun odonate indigène n'avait encore émergé en ce début de saison, un mâle de l'anax précoce en patrouille avait été observé par Christiane Girard et l'auteur (observateurs) dans l'après-midi du 29 mai 1982 à Jonquière, en bordure d'une mare de sablière située près de la route à Prosper [48,38°N]. L'année précédente, un individu qui patrouillait un petit étang récemment aménagé avait aussi été noté par l'auteur (observateur) en août 1981 au parc Falaise d'Alma [48,55°N].

En automne 2010, l'anax précoce a été signalé pour la première fois le long de la rive nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, jusqu'à la hauteur du cap de Bon-Désir, dans la municipalité Les Bergeronnes en Haute-Côte-Nord. Une femelle

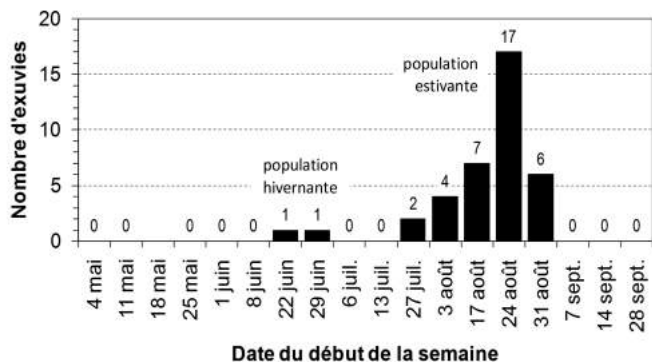


Figure 9. Récoltes hebdomadaires d'exuvies de l'anax précoce en 2013 dans un segment de 10 m du marais Lamoureux [45,38°N], à Gatineau, en Outaouais, révélant la présence d'une population hivernante de naïades.

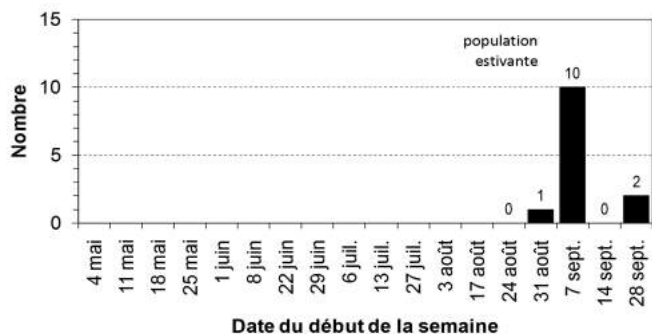


Figure 10. Distribution de fréquence des exuvies et des émergences relevées en septembre 2008 dans une mare de sablière située dans le secteur de Saint-Louis-de-France à Trois-Rivières [46,41°N] (Pierrette Charest, communication personnelle).

en chasse a été capturée le 28 août par Peter Lane (observateur) au Camping Bon-Désir [48,27°N], puis un mâle mature a été aperçu en vol le 19 septembre par l'auteur (observateur) à l'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac, en haut du talus de la baie du Moulin-à-Baude [48,16°N] au parc national du Fjord-du-Saguenay. Des vents modérés soufflaient alors du nord-est lors d'un passage d'oiseaux de proie en migration.

### Nouvelles dates record de vol au Québec

Pilon et Lagacé (1998) établissaient, pour le Québec, les dates extrêmes de la période de vol du 30 avril (Larochelle, 1978) au 19 septembre (Caron, 1979). Perron et Ruel (2002) étendirent cette période au 2 octobre. Les données récentes transmises à l'auteur dans le cadre de l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec fracassent ces records:

- 19 avril 2012 : Jardin botanique de Montréal [45,56°N ; -73,56°O], par Michel Cournoyer (observateur) ;
- 12 octobre 2009 : parc-nature du Bois-de-l'Île-Bizard de Montréal, [45,51°N ; -73,88°O], par Yolande Bergeron (observatrice).



Michel Savard



Figure 11. Site d'émergence de l'anax précoce le plus nordique connu dans l'est de l'Amérique du Nord [47,76571°N ; -68,82203°O]: marais à prêle fluviale du lac à Foin (en haut et à gauche) et exuvie laissée après le vol imaginal observé à 13:35 HAE (à droite), le 2 septembre 2012, parc national du Lac-Témiscouata, Québec (Noémi Lambert et Michel Savard, observateurs).

## Perception de l'abondance

La perception actuelle de l'abondance de l'anax précoce au Québec ne s'écarte pas des données exposées. Selon Roxanne Sarah Bernard, Pierrette Charest, Mario Comtois, Raymond Hutchinson, Benoît Ménard et Alain Mochon (observateurs), l'anax précoce s'observe familièrement chaque année dans les basses terres de l'Outaouais, de la Montérégie et de la Mauricie. Aucune émergence ou exuvie n'a été rapportée par eux en juin et juillet, avant que Caroline Piché (observatrice) en récolte en 2013 à Gatineau. Mario Comtois (observateur) n'a pas encore relevé l'espèce à l'occasion de ses inventaires effectués depuis 2008 au parc national du Mont-Tremblant et à Notre-Dame-de-la-Merci, soutenant la remarque du frère Robert sur sa rareté dans les Laurentides (Robert, 1960; 1963). Au Saguenay-Lac-Saint-Jean, selon l'expérience de Lise Chiricota, Karole Tremblay et l'auteur (observateurs), l'anax n'est observé qu'un individu à la fois, à une fréquence de l'ordre d'une année sur 6. Signalons que l'espèce n'avait pas été recensée lors d'inventaires systématiques d'adultes réalisés au nord du fjord du Saguenay en 1966-1968 (Fernet, 1969) et 1971-1973 (Caron, 1972; 1978). En Moyenne-Côte-Nord, Christophe Buidin (observateur) n'a pas remarqué de nouveau l'espèce en Minganie depuis 2004.

## Synthèse et discussion

Chaque année, dans les basses terres de l'Outaouais et du Saint-Laurent, suivant l'axe du fleuve jusqu'à la hauteur de l'île d'Orléans, les premiers adultes de l'anax précoce immigrant des États-Unis se montrent en mai, exceptionnellement à la fin avril. L'espèce se rencontre occasionnellement dans les régions situées au nord du 47° parallèle, pouvant atteindre à la fin mai les basses terres du Saguenay-Lac-Saint-Jean, mais ne dépassant apparemment pas le 50° parallèle le long des côtes de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent.

L'anax précoce est perçu omniprésent dans la vallée de l'Outaouais ainsi que dans la plaine du Saint-Laurent au sud du 46,5°N, suivant approximativement l'isotherme de 17,7°C pour les 3 mois les plus chauds (figure 7), correspondant aussi aux territoires historiquement les plus défrichés et largement dominés par l'agriculture (Rioux et collab., 2009). L'incursion d'adultes immigrants en dehors de cette zone semble occasionnelle ou rare, sauf dans les basses terres jusqu'à la hauteur de la ville de Québec où ils sont annuellement rapportés. La pénétration de l'anax précoce à l'intérieur des contreforts laurentiens et appalachiens (figure 7), semblant contourner les hauts-plateaux forestiers, ainsi que sa progression vers le nord le long des côtes de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent, sont cependant mal connues, surtout en zone boréale, car ces territoires sont très peu fréquentés par les chercheurs et naturalistes intéressés par les odonates (Savard, 2011). Il est possible que la déforestation sur de vastes superficies puisse favoriser la formation de thermales et ainsi disperser les adultes sur une plus longue distance vers le nord.

L'émergence de populations estivantes se produit régulièrement au Québec entre la mi-août et le début octobre dans la vallée de l'Outaouais et dans la plaine du Saint-Laurent. Occasionnellement, dépendamment d'une ponte hâtive et du nombre suffisant de degrés-jours accumulés lors d'une saison plus chaude que la normale, des émergences peuvent se produire à la mi-août et en début septembre dans l'enclave bioclimatique du Témiscouata, et fort possiblement dans celle du Saguenay-Lac-Saint-Jean. En superposant ces observations au modèle climatique de Gérardin et McKenney (2001), la limite nord de reproduction de l'anax précoce pourrait atteindre le 49° parallèle, suivant l'isotherme de 15,7°C pour les 3 mois les plus chauds (figure 7). Il semble donc peu probable que l'espèce puisse compléter son cycle en zone boréale, comme à l'île d'Anticosti. L'arrivée apparemment plus tardive d'individus migrants dans ces territoires, couplée à une courte saison de croissance, compromettrait le développement à terme des naïades avant l'hiver.

L'émergence à la fin juin d'une population hivernante de naïades a été constatée au Québec au sud de la latitude de 45,5°N. L'observation d'individus ténéraux en juillet semble rare en Montérégie; leur manifestation tôt en juillet pourrait indiquer des populations résidentes locales ou situées près des frontières du Québec.

Aucune observation au Québec ne suggère que l'anax précoce a récemment étendu sa répartition vers le nord; sa présence dans l'axe du fleuve Saint-Laurent jusqu'au 47° parallèle y est signalée depuis 135 ans. L'impact des changements climatiques devrait se manifester sur la précocité de l'arrivée printanière des adultes immigrants et sur l'augmentation de la fréquence des émergences de populations hivernantes et estivantes de naïades.

## Perspectives

La géographie du Québec est incomparable pour suivre l'évolution d'une espèce d'insecte migrant, telle que l'anax précoce, laquelle s'avère aussi un bon indicateur de changements à l'échelle continentale. Un réseau québécois de surveillance des arrivées printanières et des émergences de cette grande libellule migratrice, incluant la vallée de la rivière Saint-Maurice, la région naturelle des Appalaches, la zone boréale et la côte nord du Saint-Laurent, apparaît prometteur. Depuis 2011, suivant le mouvement de la « science citoyenne », les Canadiens et les Américains sont déjà invités à soumettre leurs observations en ligne sur Internet (MDP, 2013).

## Remerciements

L'auteur désire remercier tous les participants à l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec pour leurs données inédites et leur participation à l'enquête de perception, de même que Louise Cloutier, Raymond Hutchinson, Guy Lemelin et Jean-Marie Perron pour leur aide à la validation de mentions historiques, ainsi que Michel Crête, Bruno Drolet, Christian Hébert et Jean-Guy Pilon pour avoir commenté le manuscrit. ◀

## Références

- BERNARD, R.S., 2013. Inventaire des odonates du territoire du marais de la Rivière aux Cerises. Les Amis du Marais de la Rivière aux Cerises (LAMRAC), Sherbrooke, 16 p.
- BRETON, R., 1976. Récolte de larves d'*Anax junius* Drury et éclosion en aquarium. *Cordulia*, 2 : 89.
- BUIDIN, C. et Y. ROCHEPAULT, 2007. Inventaire des odonates de Minganie. *Le Naturaliste canadien*, 131 (2) : 10-16.
- CARON, A., 1972. Rapport général statistique. Chasses entomologiques de 1971 : Odonates. Rapport annuel, Les Jeunes Explos, Saint-Fulgence, 12 p.
- CARON, A., 1978. Additions à la faune odonatologique de la région du Cap Jaseur, comté de Chicoutimi, Québec. *Cordulia*, 4 : 61-62.
- CARON, A., 1979. Quelques libellules du Québec capturées de 1939 à 1954. *Cordulia*, 5 : 19-20.
- CATLING, P.M., 2003. *Anax junius* nymphs overwintering in eastern Ontario. *Ontario Odonata*, 4 : 9-10.
- CORBET, P.S., 1999. Dragonflies : Behavior and ecology of Odonata. Cornell University Press, Ithaca, 829 p.
- DAVEY, P., 1999. Weather conditions leading to the 1998 green darner *Anax junius* (Drury) influx. *Atropos*, 6 : 8-11.
- FERNET, L., 1969. Inventaire et notes écologiques sur les odonates d'une région du fjord du Saguenay. Mémoire de maîtrise, Département des Sciences biologiques, Faculté des Arts et des Sciences, Université de Montréal, 158 p.
- FYLES, T.W., 1901. The dragonflies of the province of Quebec. Annual Report of the Entomological Society of Ontario, 31 : 52-56.
- FYLES, T.W., 1915. Quebec dragonflies. *The Ottawa Naturalist*, 29 : 66-67.
- GÉRARDIN, V. et D. MCKENNEY, 2001. Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec. Contribution du Service de la cartographie écologique n° 60, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, ministère de l'Environnement, Québec, 40 p.
- HILTON, D.F.J., 1981. Flight periods of Odonata inhabiting a black spruce-sphagnum bog in south-eastern Quebec, Canada. *Notulæ odonatologicae*, 1 : 127-130.
- HINDERMEYER, X., S. MULLER, J.-P. SIBLET, A. HORELLOU et M. CLAIR, 2007. Rapport de mission, Saint-Pierre et Miquelon, 21-31 juillet 2007. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 76 p.
- HOWDEN, H.F., J.E.H. MARTIN, E.L. BOUSFIELD et D.E. McAllister, 1970. Fauna of Sable Island and its zoogeographic affinities – A compendium. Publications en zoologie, n° 4, Musée national des sciences naturelles, Ottawa, 33 p.
- HUTCHINSON, R., 1992. Liste annotée des odonates de Charlevoix-Est, Québec. *Fabriques*, 17 : 97-124.
- HUTCHINSON, R. et A. LAROCHELLE, 1977. Catalogue des libellules du Québec. *Cordulia*, Supplément 3, 45 p.
- JOBIN, L.J. et J.-M. PERRON, 2004. Odonatofaune du parc écologique du mont Shefford, division de recensement de Shefford, Québec. *Le Naturaliste canadien*, 128 (1) : 27-30.
- LAROCHELLE, A., 1978. Inventaire d'odonates dans le sud du Québec, en 1977. *Cordulia*, 4 : 45-52.
- LEBUISS, M.-A. et J.-G. PILON, 1976. Analyse comparative de la faune odonatologique de quatre milieux de la région de Saint-Hippolyte, comté de Prévost, Québec. *Annales de la Société entomologique du Québec*, 21 : 3-25.
- LEGAULT, J., 1975. Les odonates de la région du mont Pinacle, sud du Québec. *Cordulia*, 1 : 121-123.
- MAY, M.L., 2013. A critical overview of progress in studies of migration of dragonflies (Odonata : Anisoptera), with emphasis on North America. *Journal of Insect Conservation*, 17 : 1-15.
- MEURGEY, F. et C. PERRON, 2004. First French record for *Anax junius* (Drury, 1773). *Argia*, 16 : 25-26.
- MIGRATORY DRAGONFLY PARTNERSHIP (MDP), 2013. Annual Report 2012. Submitted to the US Forest Service International Programs by the Xerces Society for Invertebrate Conservation, Portland, 20 p.
- MOCHON, A., 2012. Découverte de la libellule pachydiplax au Québec durant l'inventaire de l'odonatofaune du ruisseau Castagne en Montérégie. *Le Naturaliste canadien*, 136 (3) : 49-59.
- PELLEW, K., 1999. An influx of green darner *Anax junius* (Drury) into Cornwall and the Isles of Scilly – the first European records. *Atropos*, 6 : 3-8.
- PERRON, J.-M. et L.-J. JOBIN, 2000. Faune odonatologique du territoire du marais Léon-Provancher, Neuville, Québec. *Le Naturaliste canadien*, 124 (1) : 26-33.
- PERRON, J.-M. et Y. RUEL, 2001. Addition à la faune odonatologique du territoire du marais Léon-Provancher, Neuville, Québec. *Le Naturaliste canadien*, 125 (1) : 37-38.
- PERRON, J.-M. et Y. RUEL, 2002. Saison de vol des odonates du territoire du marais Léon-Provancher, Neuville, division de recensement de Portneuf (Québec). *Le Naturaliste canadien*, 126 (2) : 13-17.
- PERRON, J.-M., L.-J. JOBIN et A. MOCHON, 2005. Odonatofaune du parc national de la Yamaska, division de recensement de Shefford, Québec. *Le Naturaliste canadien*, 129 (2) : 17-25.
- PILON, J.-G. et D. LAGACÉ, 1998. Les Odonates du Québec : traité faunistique. Entomofaune du Québec inc., Chicoutimi, 367 p.
- PILON, J.-G. et M.-A. LEBUISS, 1976. Peuplement odonatologique (Insecta : Odonata) de différents milieux aquatiques de la région de Saint-Hippolyte, cté Prévost, Québec, Canada. *Annales de la Société entomologique du Québec*, 21 : 126-135.
- PILON, J.-G. et C. SYLVESTRE, 1984. Liste préliminaire des odonates d'une région des Cantons de l'Est, sud-est du Québec, Canada. *Notulæ odonatologicae*, 2 : 38-44.
- PILON, J.-G., S. PILON et D. LAGACÉ, 1993. Composition et caractérisation du peuplement odonatologique d'un marais blainvillois situé dans la zone bioclimatique de l'érablière à caryers du Québec, Canada. *Notulæ odonatologicae*, 4 : 23-29.
- POULIN, P., 2011. Projet Libellules (Printemps 2011). Rapport déposé au parc national de Frontenac, Sainte-Praxède, 7 p.
- PROVANCHER, L., 1878. Additions et corrections aux névroptères de la province de Québec. *Le Naturaliste canadien*, 10 : 129-133.
- RIOUX, S., C. LATENDRESSE, B. JOBIN, A. BARIL, C. MAISONNEUVE, B. BOUTIN et D. CÔTÉ, 2009. Dynamique des habitats fauniques dans les Basses terres du Saint-Laurent de 1950 à 1997. *Le Naturaliste canadien*, 133 (2) : 20-28.
- ROBERT, A., 1939. Notes sur les odonates de Nomingue : *Lestes eurinus* Say et *Enallagma vesperum* Calvert dans le Québec. *Le Naturaliste canadien*, 66 : 47-64.



- ROBERT, A., 1960. Addition à la faune odonatologique du parc du Mont Tremblant. Annales de l'ACFAS, 26 : 94.
- ROBERT, A., 1963. Les libellules du Québec. Service de la Faune, Bulletin 1. Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Québec, 223 p.
- SAVARD, M., 2010. Initiative pour un Atlas des libellules du Québec. Bulletin de l'Entomofaune, 41 : 19-22.
- SAVARD, M., 2011. Atlas préliminaire des libellules du Québec (Odonata). Initiative pour un atlas des libellules du Québec, Entomofaune du Québec, Saguenay, 53 p.
- TROTTIER, R., 1966a. Studies on the morphology and ecology of certain Odonata. Mémoire de maîtrise, Université McGill, Montréal, 101 p.
- TROTTIER, R., 1966b. The emergence and sex ratio of *Anax junius* Drury in Canada. The Canadian Entomologist, 98 : 794-798.
- TROTTIER, R., 1971. Effect of temperature on the life-cycle of *Anax junius* (Odonata : Aeshnidae) in Canada. The Canadian Entomologist, 103 : 1671-1683.
- TROTTIER, R., 1973. Influence of temperature and humidity on the emergence behaviour of *Anax junius* (Odonata : Aeshnidae). The Canadian Entomologist, 105 : 975-984.
- WALKER, E.M., 1934. A preliminary list of the insects of the Province of Quebec. Odonata. Part IV. Quebec Society for the Protection of Plants Report, 26 : 96-105.
- WALKER, E.M., 1958. The Odonata of Canada and Alaska. Volume II. The Anisoptera, four families. University of Toronto Press, Toronto, 317 p.

**Dr MICHEL COUVRETTE**  
Chirurgien-dentiste

5886 St-Hubert  
Montréal (Québec)  
Canada H2S 2L7

sur rendez-vous  
seulement  
274-2373

www.iagto.ca

**IA INDUSTRIELLE ALLIANCE**  
VALEURS MOBILIÈRES INC.

**Gervais Comeau**  
Conseiller en placement

1040, avenue Belvédère, bureau 101  
Québec (Québec) G1S 3G3

Téléphone : 418 681-2442  
Sans frais : 1 800 207-2445  
Cellulaire : 418 882-8282  
Télécopieur : 418 681-7710  
gervais.comeau@iagto.ca



MEMBRE  
Industrielle Alliance  
Valeurs mobilières inc.  
est membre du FCPE.

VOTRE PARTENAIRE DE CONFIANCE.

**Groupe Hemispheres**  
*L'heure juste en environnement!*



**QUÉBEC**  
13, rue Saint-Louis, bureau 201  
Lévis (Qc) G6V 4E2  
Sans frais : 1 866 574-7032

**MONTRÉAL**  
1453, rue Beaubien Est, bureau 301  
Montréal (Qc) H2G 3C6  
Sans frais : 1 866 569-7140

info@hemis.ca | www.hemis.ca

1435 rue Provancher  
Québec, QC  
G1Y 1R9



**LA MAISON  
LÉON-PROVANCHER**  
www.maisonleonprovancher.com

# Les génomes du pin gris et du pin tordu, témoins des bouleversements climatiques passés

Julie Godbout et Jean Bousquet

## Résumé

La phylogéographie est un champ de la biogéographie qui s'appuie sur les outils de la génétique afin de mieux comprendre les conséquences d'événements anciens sur la répartition de la diversité des espèces. Les aires actuelles de répartition de 2 espèces de pin dur, le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et le pin tordu (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.) étaient presque entièrement recouvertes par l'inlandsis au moment du maximum glaciaire, il y a 21 000 ans. Ces 2 espèces représentent donc d'excellents modèles pour étudier l'effet de la dernière glaciation sur la diversité génétique des espèces et pour la compréhension des mouvements de colonisation qui ont accompagné le réchauffement climatique de l'Holocène. L'utilisation de marqueurs génétiques de l'ADN mitochondrial et chloroplastique a permis de détecter une structure géographique marquée pour chacune des 2 espèces, permettant de mettre en évidence plusieurs éléments du paysage ayant favorisé la différenciation génétique de sous-groupes durant l'ère glaciaire. Ces marqueurs ont aussi permis de détecter une introgression naturelle entre ces espèces ainsi que des fluctuations de leurs répartitions au cours de l'Holocène. Les contextes historique, théorique et méthodologique sont aussi abordés de façon à permettre la comparaison avec d'autres espèces du biome boréal.

MOTS CLÉS : génétique, histoire glaciaire, phylogéographie, *Pinus banksiana*, *Pinus contorta*

## Abstract

Phylogeography is a field of science that uses genetics tools to understand how historical events have shaped the genetic diversity of species. The current natural ranges of 2 North American hard pines species, jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.), were almost completely covered by ice sheets during the last glacial maximum, 21,000 years ago. For this reason, these 2 species represent excellent models for studying the effect of the last glacial period on genetic diversity. Furthermore, they help provide a global image of colonization pathways used by species as the climate became warmer at the beginning of the Holocene. The use of DNA markers from chloroplast and mitochondrial genomes allowed detection of a geographical structure for each species. This structure results from landscape features that altered gene flow between sub-groups of populations, so favouring genetic differentiation between such groups during the glacial era. Natural introgression between the 2 species and fluctuations in their natural ranges that would have occurred during the Holocene, were also detected using the genetic tools developed. Historical, theoretical and methodological contexts are also presented to allow comparisons of these results with those from other species within the boreal ecosystem.

KEYWORDS: genetic, glaciation history, phylogeography, *Pinus banksiana*, *Pinus contorta*

## Introduction

### **La diversité génétique des espèces : dans l'espace et le temps**

Depuis 2,5 millions d'années, les multiples fluctuations climatiques ont influencé considérablement la répartition des espèces vivantes (Webb et Bartlein, 1992). En effet, le cycle des périodes glaciaires et interglaciaires qu'a connu la planète durant cette période a entraîné de grands mouvements migratoires chez les espèces. À l'échelle intraspécifique, la continuelle relocalisation des populations a donc certainement contribué à modifier la structure géographique des populations. La phylogéographie vise donc à identifier des discontinuités génétiques au sein de la structure géographique des populations actuelles qui découleraient de l'action des différentes forces évolutives au cours de l'histoire des espèces (voir encadré).

Durant le dernier épisode glaciaire, la modification de l'aire de répartition d'une espèce a pu se traduire par l'isolement géographique et génétique de certaines populations. Cet isolement peut avoir, dans certains cas, entraîné la différenciation

de sous-populations émergeant d'une population ancestrale suivant un phénomène nommé VICARIANCE (voir le lexique pour les termes en petites capitales). Aussi, en relation avec cet historique de glaciations, les études phylogéographiques se sont particulièrement intéressées, depuis une vingtaine d'années, à identifier, pour une espèce ou un complexe d'espèces apparentées, l'emplacement des refuges glaciaires, les facteurs de vicariance ainsi que les routes de migration postglaciaire (voir les revues de Hewitt, 2004 ; Soltis et collab., 2006 ; Jaramillo-Correa et collab., 2009 ; Shafer et collab., 2010).

*Julie Godbout est actuellement stagiaire postdoctorale au Service canadien des forêts (Ressources naturelles Canada) à Québec. Elle est spécialisée en génétique des populations forestières et ce manuscrit constitue un résumé de ses travaux de doctorat réalisés sous la supervision de Jean Bousquet.*

*julie.godbout.1@gmail.com*

*Jean Bousquet est professeur titulaire à la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval. Ses recherches portent sur la génomique des arbres.*

### Le pin gris et le pin tordu : témoins des derniers bouleversements historiques

Les arbres forestiers possèdent plusieurs particularités qui font d'eux de bons modèles pour mieux comprendre l'impact d'événements historiques sur le monde vivant. En effet, leur grande taille effective et leur forte plasticité phénotypique leur confèrent la capacité de s'adapter à un vaste éventail de conditions (Petit et Hampe, 2006) et donc de survivre à des changements environnementaux majeurs. De plus, ils présentent généralement de longues générations et un grand investissement dans la reproduction qui leur permettent de conserver, sur une plus longue période que les plantes herbacées, les empreintes génétiques qui datent d'événements anciens (Hamrick, 2004; Hampe et Petit, 2005; Petit et Hampe, 2006).

Le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et le pin tordu (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.) sont 2 espèces rapprochées qui s'hybrident dans la partie sympatrique de leur aire

respective de répartition (Lotan et Critchfield, 1990; Rudolph et Laidly, 1990). Ils constituent les pins les plus septentrionaux de tous les pins d'Amérique du Nord (Critchfield et Little, 1966). La combinaison des aires naturelles de ces 2 pins couvre, en longitude, toute la région boréale du Canada et, en latitude, toute la région du Pacifique Nord-Ouest (figure 1). Cette large zone inclut plusieurs éléments du paysage susceptibles d'avoir contribué à la différenciation des populations au cours de la dernière glaciation. Parmi ceux-ci, de l'ouest vers l'est, la chaîne côtière, celle des Cascades, les montagnes Rocheuses, les plaines de l'ouest et les Appalaches (figure 1). Ces 2 espèces s'étendent aussi sur les côtes Pacifique (*P. contorta*) et Atlantique (*P. banksiana*). Ces éléments du paysage et la proximité de la côte pourraient avoir causé l'isolement génétique de populations, entraînant ainsi leur différenciation génétique via des effets de vicariance (Cox et Moore, 2005). L'utilisation des techniques de la phylogéographie sur des espèces largement distribuées comme ces pins permet donc de

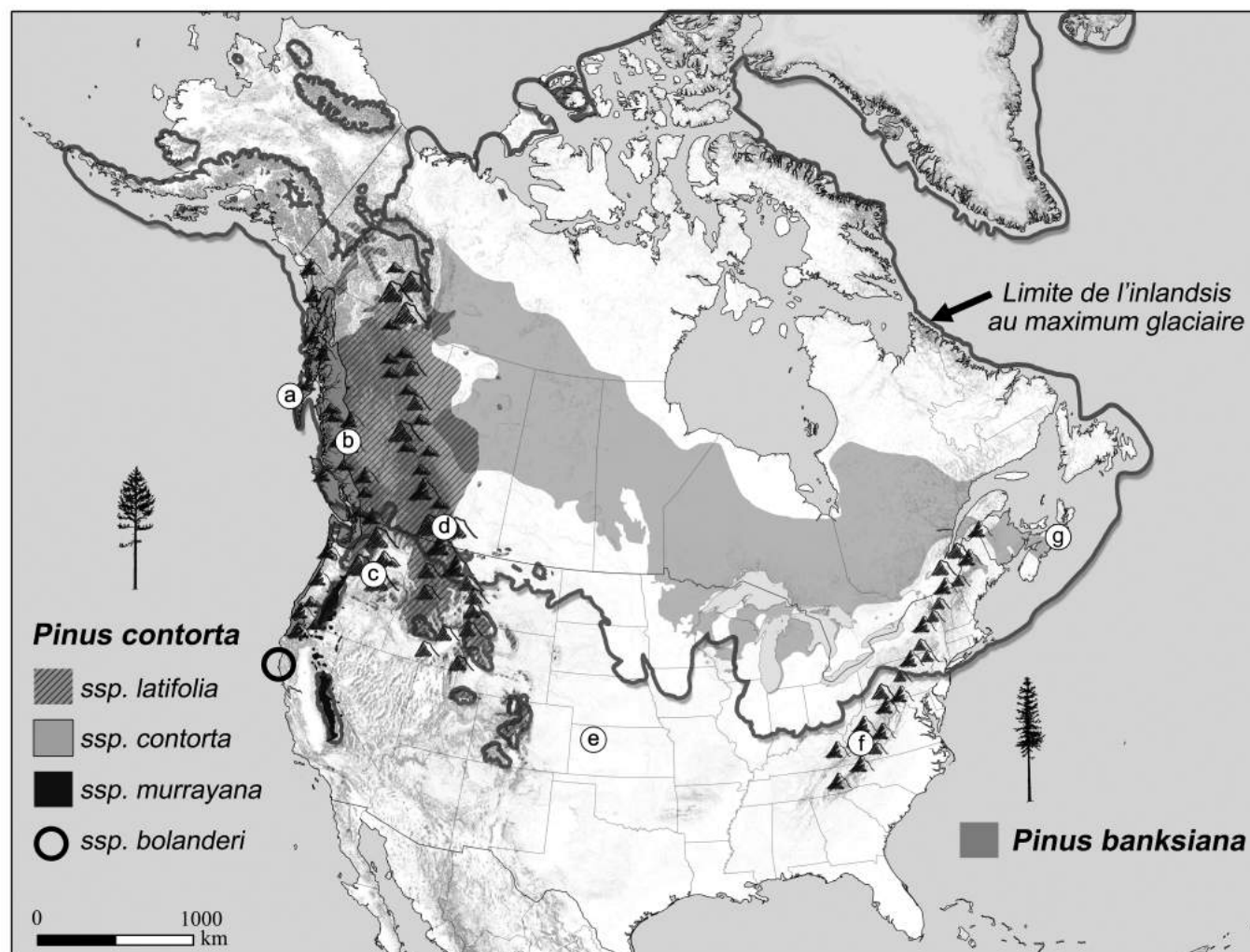


Figure 1. Aires de répartition des 2 espèces à l'étude (selon les données de U.S. Geological Survey) : à gauche, les 4 sous-espèces du pin tordu (*Pinus contorta*) (répartition approximative) et à droite, le pin gris (*Pinus banksiana*). Le trait gris représente la limite de l'étendue de la calotte glaciaire au moment du dernier maximum glaciaire (Dyke et collab., 2003). Les lettres encadrées correspondent aux différents éléments du paysage ou lieux géographiques mentionnés : a) l'archipel Haida Gwaii ; b) la chaîne côtière ; c) la chaîne des Cascades ; d) les Rocheuses ; e) les grandes plaines ; f) les Appalaches ; et g) les Maritimes.

tester simultanément l'effet de plusieurs éléments du paysage comme facteurs de vicariance.

Le pin tordu s'étend sur une variété d'environnements plus hétérogènes que le pin gris. Aussi est-il subdivisé en 4 sous-unités taxonomiques qui correspondent à autant d'écotypes, tous inter-fertiles (Lotan et Critchfield, 1990) : les sous-espèces *latifolia*, *contorta*, *murrayana* et *bolanderi* (figure 1). La sous-espèce *latifolia* possède la répartition la plus étendue et elle est la plus semblable, morphologiquement, au pin gris. C'est aussi avec cette sous-espèce que le pin gris s'hybride (figure 1). En effet, les 2 espèces n'ont pas complété leur isolement reproductif puisqu'elles s'hybrident spontanément dans les 2 zones connues de sympatrie situées en Alberta et dans le Nord canadien (Lotan et Critchfield, 1990; Rudolph et Laidly, 1990) (figure 1). Les conditions édaphiques joueraient un rôle de premier plan dans la répartition des peuplements de chaque espèce à l'intérieur de cette zone d'hybridation, le pin gris occupant les sols les plus xériques et le pin tordu les sols argileux, voire tourbeux (Yeatman, 1967; Rudolph et Yeatman, 1982).

### **Amérique du Nord : bref portrait du dernier maximum glaciaire**

La dernière glaciation, celle dite du Wisconsinien, aurait débuté il y a environ 115 000 années et sa fin marque le début de l'ère géologique actuelle, l'Holocène, qui a commencé il y a 10 000 ans (Matthews et collab., 1989). Au cours de celle-ci, 3 inlandsis distincts se sont formés sur le nord du continent américain : les calottes Laurentidienne, Inuitienne et de la Cordillère, respectivement situées dans l'est et le centre du Canada actuel, dans l'Arctique et dans l'Ouest canadien (figure 1) (Dyke et Prest, 1987; Dyke et collab., 2002, 2003). Les zones côtières s'avèrent les régions où subsistent le plus d'incertitudes quant à la délimitation du contour des glaciers durant la glaciation. Au moment du dernier maximum glaciaire (environ 21 000 ans; Mix et collab., 2001; Shaw et collab., 2006), du fait de l'importante masse d'eau séquestrée dans les glaciers, le niveau des mers était de 120 à 135 m plus bas, dévoilant ainsi des portions du plateau continental aujourd'hui submergées par la mer (Clark et Mix, 2002).

La dynamique glaciaire de la région Atlantique (incluant les régions de la Nouvelle-Angleterre, des Maritimes et de Terre-Neuve) apparaît comme un processus complexe où l'avancée et le retrait d'un ensemble de glaciers (complexes des Appalaches) se seraient produits à 4 reprises depuis le début de la période glaciaire du Wisconsinien (Stea, 2004). Dans cette région côtière, il est généralement admis que les glaces auraient partout atteint les limites du plateau continental (Shaw et collab., 2006). Par contre, cette expansion maximale des glaces n'aurait possiblement pas été atteinte de façon simultanée dans l'ensemble de la région (Shaw et collab., 2006).

De l'autre côté du continent, sur la côte Pacifique, les lobes du glacier n'auraient pas atteint partout les limites du plateau continental au moment du maximum glaciaire (Clague, 1981, 1989; Clague et James, 2002). Ainsi, des régions côtières, enchâssées entre la mer et la glace, seraient restées

déglacées durant toute l'époque glaciaire. Plus précisément, la présence de glace aurait été de courte durée et restreinte spatialement sur l'archipel Haida Gwaii (ou îles de la Reine-Charlotte) (figure 1, point a), localisées dans les lobes des piémonts de la *Queen Chain Range* (Clague et collab., 1982). De plus, grâce à l'étude de fossiles de la grotte de Port Eliza sur l'île de Vancouver, on a suggéré qu'une forêt ouverte recouvrait l'île durant le maximum glaciaire et que la présence de glace datait d'environ 17 000 ans (Ward et collab., 2003). La déglaciation rapide de la côte Pacifique a aussi été mise en lumière par les études retraçant la colonisation du continent américain par les premiers humains. En effet, les données archéologiques et génétiques (Goebel et collab., 2008) suggèrent l'utilisation d'une route côtière par les Paléoaméricains dans leur migration de la Béringie vers le sud du continent il y a environ 16 500 ans.

### **Reconstitution des histoires glaciaires et postglaciaires des espèces : notes sur les méthodes**

Différentes méthodes complémentaires permettent de reconstituer le passé glaciaire des espèces. Parmi celles-ci, 2 approches se distinguent : une première, directe, s'applique à recueillir des éléments qui datent de ce passé afin de le reconstituer, alors que la seconde, indirecte, se penche plutôt sur les conséquences toujours détectables de ce passé afin d'en déduire les causes anciennes. Plus précisément, la première relève de l'analyse des données fossiles et la seconde, de la biogéographie traditionnelle et de la phylogéographie.

La compilation des données fossiles, c'est-à-dire les microfossiles, mais surtout le pollen microfossiles, permet d'inférer une délimitation approximative des aires de répartition glaciaires de plusieurs espèces (p. ex. : Davis, 1983; Ritchie, 1987; Jackson et collab., 1997) et d'inférer les biomes anciens (p. ex. : Jackson et collab., 2000; Williams et collab., 2004). Bien qu'extrêmement utile, l'utilisation des données fossiles possède certaines limitations. En effet, la datation au carbone 14 présente certains problèmes de calibration à cause de la variation dans la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique au fil du temps, plus particulièrement dans le cas des fossiles estimés à plus de 11 800 ans (Hughen et collab., 1998). De plus, certaines régions possèdent moins de sites de qualité quant au dépôt et à la conservation des fossiles, rendant la représentation des taxons et des régions inégales (Jackson et collab., 2000). Ainsi, l'absence de pollen d'une espèce à un site donné n'indique pas nécessairement son absence dans l'environnement passé, par exemple lorsqu'une espèce est présente mais rare. Inversement, et puisque les grains de pollen peuvent être dispersés sur de très grandes distances, leur découverte en un lieu donné ne témoigne pas obligatoirement de la présence passée d'une espèce en un lieu précis. Dans ce dernier cas, nous pourrions déterminer un seuil minimal et arbitraire de présence de pollen en normalisant à partir des dépôts modernes (Cwynar et Macdonald, 1987; Williams et collab., 2004). Ainsi, l'utilisation de la présence de pollen sera utile pour localiser les grandes populations ou visualiser des

déplacements migratoires importants, mais beaucoup moins pour détecter la présence et le mouvement de populations de faibles effectifs sur des sites précis (McLachlan et collab., 2005). Enfin, l'identification des pollens fossiles peut manquer de résolution taxonomique. C'est le cas pour les pins d'Amérique du Nord (Jackson et collab., 1997) où seule l'identification au sous-genre est possible.

Aussi, la reconstitution des histoires glaciaires et post-glaciaires bénéficie de l'apport des données phylogéographiques aux données fossiles. Si les premières permettent de quantifier le nombre de populations glaciaires génétiquement distinctes et d'en estimer le degré de différenciation génétique, la seconde permet de les ancrer dans l'espace et de dessiner les routes probables de colonisation postglaciaire.

### Des arbres en mouvement

Avec le refroidissement du climat accompagnant l'ère du Wisconsinien, les espèces n'ont eu d'autres choix que de s'adapter, se déplacer ou disparaître. Pour les espèces dont l'aire de répartition s'est trouvée sous la calotte glaciaire, leur survie dépendait de leur seule capacité à migrer. Nous distinguons généralement le flux génique du phénomène de dispersion. En effet, le premier réfère aux échanges de gènes entre des populations déjà installées alors que le second implique plutôt la colonisation de nouveaux sites. Lors du retrait de la calotte glaciaire, la colonisation s'est faite par l'intermédiaire des diaspores (graines ou boutures) qui, elles seules, permettent l'établissement sur de nouveaux territoires. Toutefois, la structure génétique qui résultera du processus de colonisation représentera l'action combinée des phénomènes de dispersion et du flux génique.

Le processus de colonisation postglaciaire a supposé, pour plusieurs espèces, une expansion dramatique de leur aire de répartition. Aussi, une des conséquences de l'avancée de ces fronts de migration suivant la fonte des glaciers est la formation de zones de contact secondaires résultant de la rencontre entre les différents fronts de migration représentatifs de différentes lignées glaciaires génétiquement distinctes (Hewitt, 1996). Ainsi, les populations de ces zones de contact présentent une diversité génétique plus élevée que les populations confinées dans les refuges (Petit et collab., 2003).

Chez les plantes supérieures, le mouvement des gènes se fait principalement par 2 vecteurs : les graines et le pollen (si nous excluons les modes de reproduction végétative). Les graines sont à la fois impliquées dans les phénomènes de dispersion et de flux génique, alors que le pollen participe seulement au flux génique, mais généralement dans une plus grande proportion que les graines. Cette variation dans la contribution relative au flux génique est expliquée par les différences dans la quantité de graines et de pollen produite par la plante, mais aussi par l'efficacité de la dispersion de ceux-ci. Chez les pins tordus, le flux génique du pollen est estimé de 16 à 68 fois supérieur à celui des graines (Ennos, 1994). Les grains de pollen des pins du genre *Pinus* sont anémophiles et possèdent des structures adaptées au transport par le vent

(MacDonald et collab., 1998), ce qui facilite d'autant plus leur dispersion (Bassett et collab., 1978).

### Bi-héritabilité des génomes cytoplasmiques chez les Pinacées: impacts sur les structures phylogéographiques

Chez les plantes, 3 génomes cohabitent dans les cellules, le génome nucléaire (dans le noyau), le génome mitochondrial (dans la MITOCHONDRIE) et le génome chloroplastique (dans le CHLOROPLASTE). Contrairement au génome nucléaire, dont chacune des moitiés est héritée d'un des 2 parents, les génomes des ORGANITES sont généralement transmis d'une génération à une autre de façon uniparentale. C'est cette caractéristique qui explique que l'utilisation de marqueurs moléculaires issus de l'ADN des organites soit intimement liée au développement de la phylogéographie, même avant sa dénomination officielle en 1987. En effet, l'ADN MITOCHONDRIAL (ADNmt) et l'ADN CHLOROPLASTIQUE (ADNcp) ont l'avantage d'être très peu soumis à la recombinaison (Jaramillo-Correa et Bousquet, 2005). De plus, leur nature HAPLOÏDE les rend plus sensibles à l'action de la dérive génétique (voir encadré) et donc de la vicariance. Pour ces raisons, ils sont donc plus susceptibles de présenter encore aujourd'hui l'empreinte génétique qui témoignerait d'événements anciens en comparaison avec le génome nucléaire, recombinant et DIPLOÏDE (Gamache et collab., 2003). La PLOÏDIE a un impact direct sur la taille de la population et donc sur l'effet de la dérive génétique qui, pour cette raison, sera plus important sur les génomes des organites que sur celui du noyau (voir encadré).

Chez les plantes, ce mode de transmission uniparentale du génome des organites implique qu'un génome transmis par la mère sera disséminé par les graines alors qu'un génome transmis par le père sera disséminé par le pollen. Plus particulièrement, chez les Pinacées, l'ADNmt est transmis par la mère et l'ADNcp par le père. Ainsi, la structure génétique des populations révélée par les marqueurs de l'ADNmt sera le reflet des mouvements des graines alors que celle de l'ADNcp reflétera celui du pollen (Jaramillo-Correa et collab., 2003; Bagnoli et collab., 2011). Aussi, le patron génétique détecté à l'aide de l'un ou l'autre de ces marqueurs sera tributaire de la mobilité du vecteur de dispersion qui y sera associé.

Durant la glaciation, un élément du paysage agissant comme facteur de vicariance n'aura donc pas le même effet sur le mouvement du pollen que sur celui des graines, en raison de l'aptitude du pollen à être dispersé plus efficacement que les graines. Par exemple, ce facteur de vicariance pourra réduire fortement les échanges de graines entre 2 populations glaciaires alors qu'il n'aura peu ou pas d'effet sur les échanges de pollen. En conséquence, ces 2 populations seront plus différenciées pour l'ADNmt, alors que la dérive n'aura pas ou peu agi sur la structure de populations détectée avec l'ADNcp (Burban et Petit, 2003; Jaramillo-Correa et collab., 2006; Wei et collab., 2011). Il apparaît également difficile de discriminer ce phénomène qui a eu cours au moment de la glaciation de celui qui a suivi la fin de cette période. En effet, à l'issue d'une glaciation et lors de

la recolonisation, l'important flux génique du pollen peut aussi avoir pour effet d'homogénéiser la composition génétique des populations et d'effacer la trace d'une structure ancienne. Cette homogénéisation aura lieu d'autant plus pour l'ADNcp et l'ADN nucléaire que pour l'ADNmt, puisque ce dernier n'est pas soumis au flux génique par le pollen. Pour ces raisons, l'utilisation de marqueurs de l'ADNmt sera priorisée dans la reconstitution de l'histoire glaciaire des Pinacées puisque les structures génétiques anciennes seront effacées moins rapidement que celles des génomes chloroplastique et nucléaire.

À l'échelle interspécifique, le flux génique associé à un génome particulier détermine aussi sa sensibilité à retenir ou non des traces d'hybridation naturelle. En effet, le plus fort flux génique associé au pollen effacera rapidement les traces

d'hybridation ancienne, alors que celui en provenance des graines, moins dispersées, favorisera plutôt le maintien de cette empreinte d'hybridation passée (Du et collab., 2009). Aussi, chez les conifères, l'utilisation de marqueurs de l'ADNcp permettra une meilleure délimitation des espèces (Petit et Excoffier, 2009), alors que celle des marqueurs de l'ADNmt favoriserait plutôt la détection d'événements d'hybridation passés (Dong et Wagner, 1993; Senjo et collab., 1999; Du et collab., 2009).

### La biogéographie du pin gris et du pin tordu

Les objectifs premiers de nos études sur le pin gris et le pin tordu étaient de mieux documenter leurs histoires glaciaires et postglaciaires à l'échelle continentale. Bien qu'ayant été précédemment étudiées dans une perspective biogéographique (p. ex. : Yeatman, 1967; Wheeler et Guries, 1982), plusieurs incertitudes concernant leurs histoires glaciaires et postglaciaires subsistent encore. Pour satisfaire ces objectifs, nous avons étudié la variation génétique des génomes chloroplastique et mitochondrial à l'aide de marqueurs génétiques. Dans cette étude, le nombre de lignées génétiquement distinctes a été déterminé à l'aide d'un marqueur du génome mitochondrial et de 4 marqueurs du génome chloroplastique à l'échelle de l'aire de répartition des 2 espèces. Les répartitions géographiques de la diversité génétique observée pour ces divers marqueurs ont ensuite été comparées aux données palynologiques dans le but d'inférer l'emplacement probable des refuges glaciaires, les routes de colonisation postglaciaire ainsi que les zones de contact secondaires. Nos recherches se sont également intéressées aux conséquences de l'hybridation passée entre les 2 espèces en étudiant les patrons d'INTROGRESSION des génomes des organites. Considérant que les flux géniques par les graines et par le pollen sont asymétriques chez les conifères (Gamache et collab., 2003; Bagnoli et collab., 2011), les signaux d'introgression détectés à l'aide de marqueurs issus de ces 2 génomes devraient aussi témoigner de cette différence. Aussi, 2 marqueurs du génome mitochondrial ainsi qu'une combinaison de 4 marqueurs du génome chloroplastique ont été utilisés pour étudier la dynamique récente des changements de répartition des 2 espèces dans la région de leur zone de contact dans l'Ouest canadien.

### Pin gris et pin tordu : l'ADNmt témoigne d'un passé glaciaire tumultueux

La découverte et l'utilisation d'un MARQUEUR GÉNÉTIQUE de type MINISATELLITE de l'ADNmt chez le pin gris (figure 2b) et chez le pin tordu (figure 2a) a permis de déduire l'existence de plusieurs lignées glaciaires génétiquement distinctes. Chez le pin gris, 3 lignées glaciaires ont été identifiées (figure 3, cercles x, y et z) (Godbout et collab., 2005). Une première lignée a été observée dans l'ouest de l'aire de répartition (figure 2b). À l'est de l'Ontario, l'analyse de la répartition de la diversité génétique a révélé un patron plus complexe, impliquant notamment une large zone de contact au centre du Québec entre 3 fronts de recolonisation postglaciaire

### Les 4 forces de l'évolution qui façonnent les espèces

La structure géographique d'une espèce résulte d'un équilibre entre les forces évolutives qui tendent à produire de la différenciation génétique et celles qui tendent à homogénéiser cette diversité génétique (Slatkin, 1987). En phylogéographie, puisque l'objectif est de détecter des traces d'événements anciens causés par la vicariance, l'utilisation de marqueurs génétiques neutres sera préconisée de façon à éviter la détection d'un signal qui résulterait d'une adaptation. Les marqueurs neutres sont donc des marqueurs qui ne sont pas soumis à une des forces de l'évolution, la sélection naturelle, qui a pour effet de favoriser des gènes qui sont adaptés à leur milieu.

Ainsi, des 4 forces évolutives, seules seront considérées dans l'analyse des structures géographiques l'action de la migration, de la dérive génétique et de la mutation. La migration (ou flux génique) permet les échanges d'allèles (différentes formes d'un gène) entre les populations. La migration entraîne l'homogénéisation des populations et aura pour effet de diminuer la structure géographique. Inversement, l'action de la dérive génétique favorise la différenciation génétique des populations et donc augmente leur structure géographique. La dérive génétique est une force aléatoire qui est causée par un effet d'échantillonnage des allèles qui sont transmis à chaque nouvelle génération. Elle est intimement liée à la taille des populations puisque plus une population sera petite, plus la probabilité de transmettre des allèles identiques à la génération suivante sera élevée. Nous parlons alors d'un effet de dérive puisque cette probabilité de « piger » un même allèle augmentera à chaque génération. De génération en génération, ce processus aura pour effet de favoriser la divergence entre les populations et de diminuer la diversité génétique au sein de celles-ci. Enfin, la mutation est une force génératrice de diversité dont l'effet dépend du taux de mutation associé à la région du génome étudiée et de l'échelle de temps considérée. Dans le cadre d'études s'intéressant à des processus historiques plus récents tels que la glaciation, son effet est plus négligeable que ceux de la dérive et de la migration.

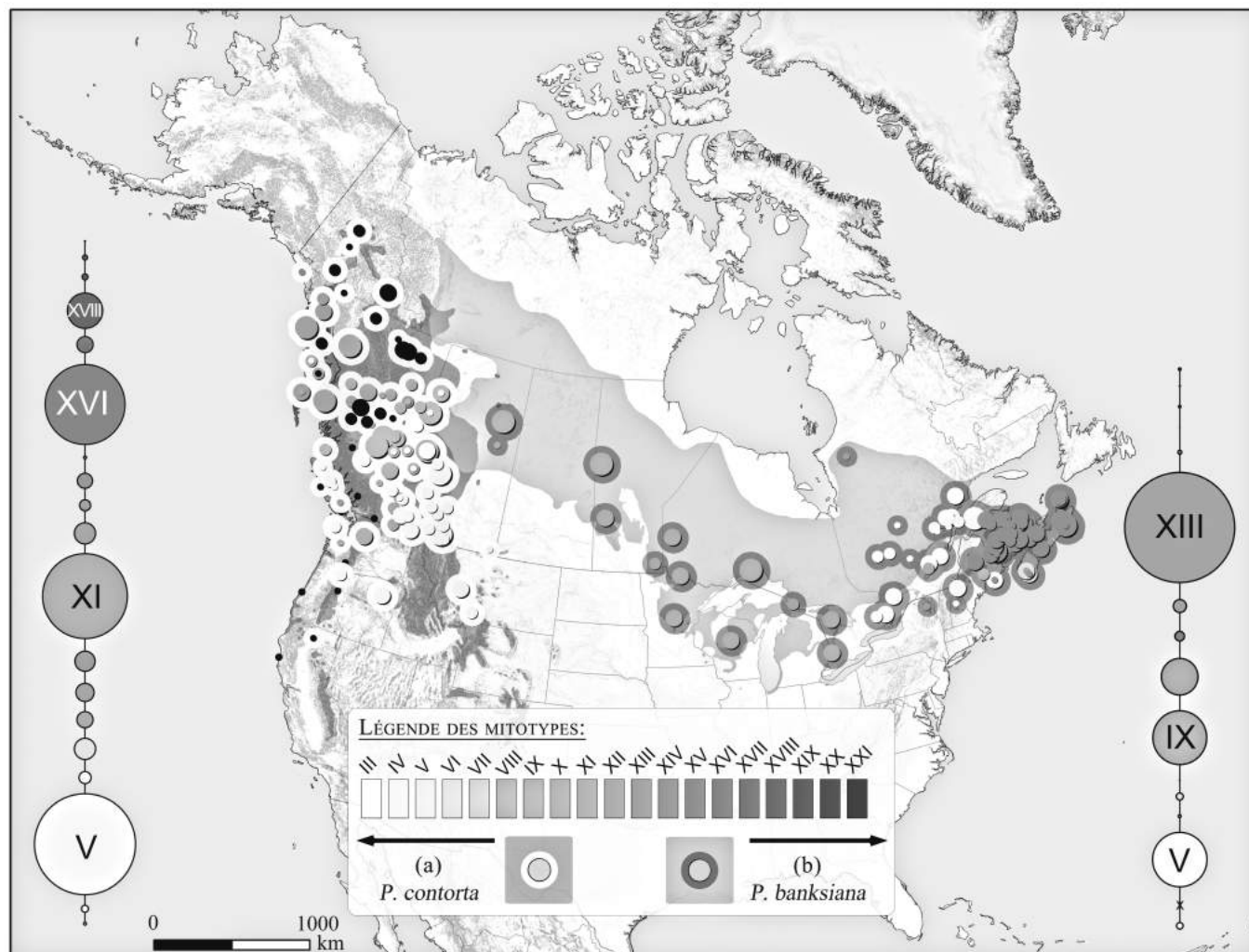


Figure 2. (a) Répartition des 4 mitotypes les plus abondants trouvés dans les 91 populations échantillonnées pour les 4 sous-espèces de pin tordu. Le réseau de mitotypes à gauche de la figure représente la proportion relative des 19 mitotypes trouvés chez le pin tordu. Les mitotypes les plus fréquents identifiés (V, XI, XVI et XVIII) correspondent à ceux présentés pour le pin tordu sur la carte. (b) Répartition des 3 mitotypes les plus abondants trouvés dans les 83 populations de pin gris échantillonnées. Le réseau de mitotypes à droite de la figure représente la proportion relative des 15 mitotypes trouvés chez le pin gris. Les mitotypes les plus fréquents identifiés (V, IX et XIII) correspondent à ceux présentés pour le pin gris sur la carte.

décollant d'autant de refuges glaciaires génétiquement distincts (figure 3, cercle 3).

De plus, l'utilisation d'un échantillonnage de populations très denses dans la région des Maritimes a permis d'identifier une LIGNÉE MATERNELLE vraisemblablement représentative d'un refuge côtier situé près de la calotte glaciaire, dans l'est de l'aire de répartition du pin gris (voir la distribution de la forme ou MITOTYPE, XIII du marqueur de l'ADNmt, figure 2b).

Contrairement aux observations découlant de l'étude de l'ADN mitochondrial, l'utilisation de marqueurs issus du génome chloroplastique, dispersés par le pollen, n'a pas révélé de structure géographique (Godbout et collab., 2010). En effet, l'étude de la répartition géographique des 50 CHLOROTYPES (résultant de la combinaison entre les différentes formes observées pour les marqueurs de l'ADNcp) identifiés chez le pin gris n'a pas permis de mettre en évidence une structuration

significative des populations. Cela indique que le flux génique provenant du pollen aurait été beaucoup plus efficace que celui provenant des graines dans l'homogénéisation de la structure des populations. En effet, ces résultats sont en accord avec le caractère plus informatif prédit pour les marqueurs issus de génomes se disséminant sur une faible distance (Bagnoli et collab., 2011), comme c'est le cas pour l'ADN mitochondrial chez les Pinacées.

L'analyse du même marqueur de l'ADNmt chez le pin tordu a également mis en lumière une structure géographique forte et complexe (figure 2a). Plusieurs groupes de populations ont été identifiés comme représentatifs de refuges glaciaires génétiquement distincts et de zones de contact secondaire (figure 3; Godbout et collab., 2008). La complexité de l'histoire postglaciaire inférée pour cette espèce fait écho à l'hétérogénéité du territoire occupé par celle-ci. En effet, la chaîne des

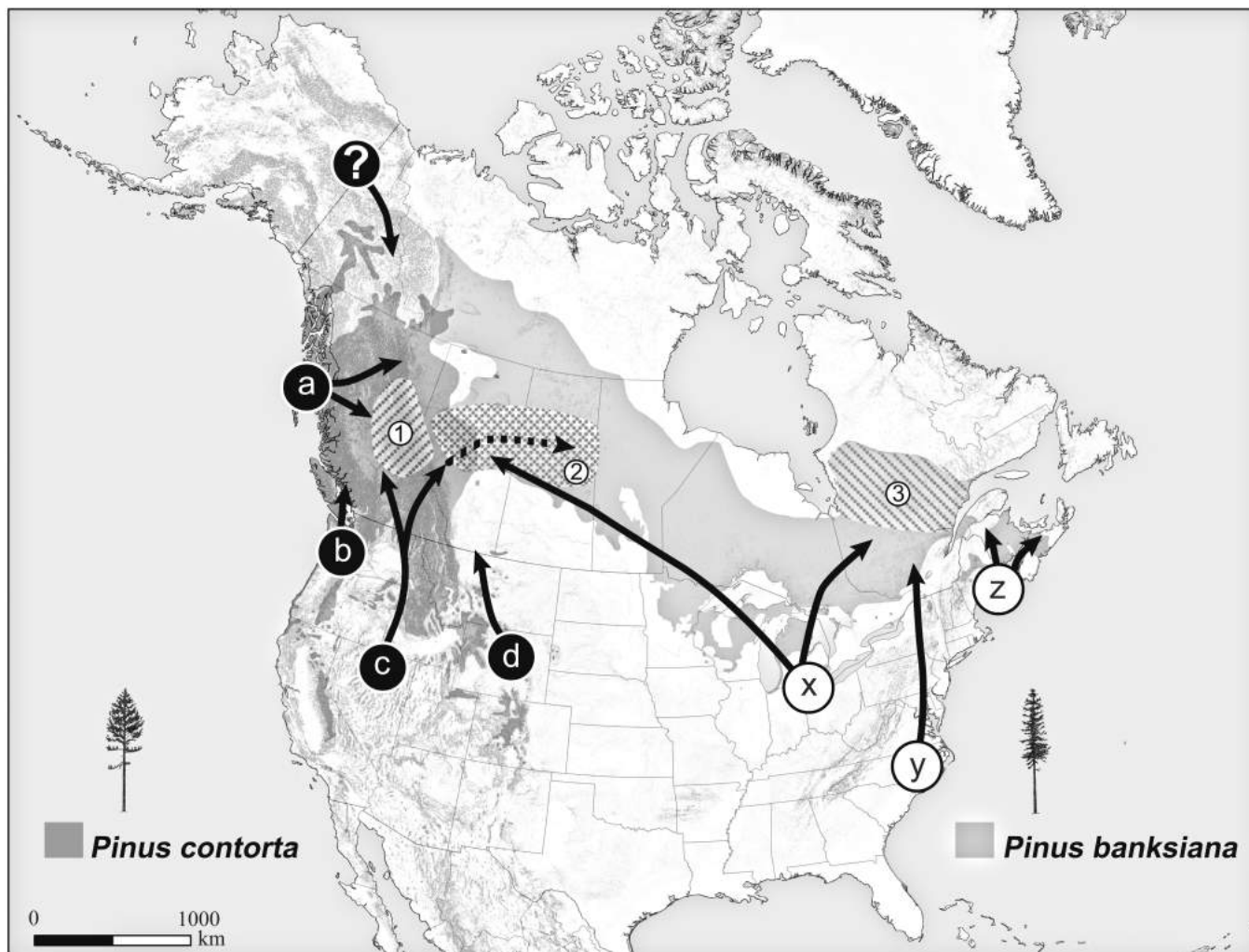


Figure 3. Carte synthèse représentant les histoires postglaciaires telles qu'inférées dans cette étude. Les cercles noirs correspondent aux différents refuges glaciaires proposés pour la sous-espèce *contorta* (a et b) et la sous-espèce *latifolia* (c, d et le point d'interrogation) du pin tordu. Les cercles blancs représentent les refuges glaciaires proposés pour le pin gris : (x) et (y), séparés par les Appalaches et (z), vraisemblablement confiné à la côte nord-est. Les aires hachurées représentent des zones de contact secondaire : à l'échelle intraspécifique (1 et 3) et interspécifique (2).

Cascades et celle des Rocheuses auraient constitué des facteurs de vicariance, en entravant le flux génique des graines et en favorisant la différenciation génétique au cours de la glaciation au sein des refuges situés au sud de la calotte (cercles b, c et d, figure 3). De plus, la sous-espèce *contorta* aurait survécu à la glaciation dans 2 refuges côtiers génétiquement distincts; un premier au sud de la calotte glaciaire et un second, à la hauteur de l'archipel Haida Gwaii en Colombie-Britannique (respectivement cercles b et a, figure 3).

L'étude des patrons d'introgression existant entre les 2 espèces, à l'aide de marqueurs issus des génomes mitochondrial et chloroplastique, a permis de mettre en évidence l'expansion postglaciaire du pin tordu jusque dans le centre du Canada, une région où il est aujourd'hui absent (cercle 2, figure 3; Godbout et collab., 2012). L'arrivée plus tardive du pin gris dans la région, qui correspond aujourd'hui à la Saskatchewan et à l'est de l'Alberta, s'est traduite par la « capture » du génome mitochondrial du pin tordu par le

pin gris (figure 4). Ce processus est le résultat de l'action combinée de la colonisation postglaciaire des 2 espèces et de la transmission uniparentale des génomes des organites : par la mère pour l'ADNmt et par le père pour l'ADNcp. À l'issue de ce processus, les arbres de cette région du centre du Canada présentent à la fois la morphologie et l'ADNcp typique du pin gris, mais possèdent aussi un ADNmt caractéristique du pin tordu. Par la plus grande importance du flux génique du pollen (figure 4b), les traces d'hybridation ancienne ont été effacées concernant l'ADNcp, mais conservées pour l'ADNmt au sein de ces populations de pin gris (figure 4c et d).

### L'effet du paysage

La large répartition conjointe du pin gris et du pin tordu permet de couvrir l'ensemble du territoire boréal de l'Amérique du Nord d'un océan à l'autre, afin d'en détecter les grands facteurs de vicariance potentiels (figures 1 et 3). Ainsi, nos résultats indiquent que les chaînes de montagnes



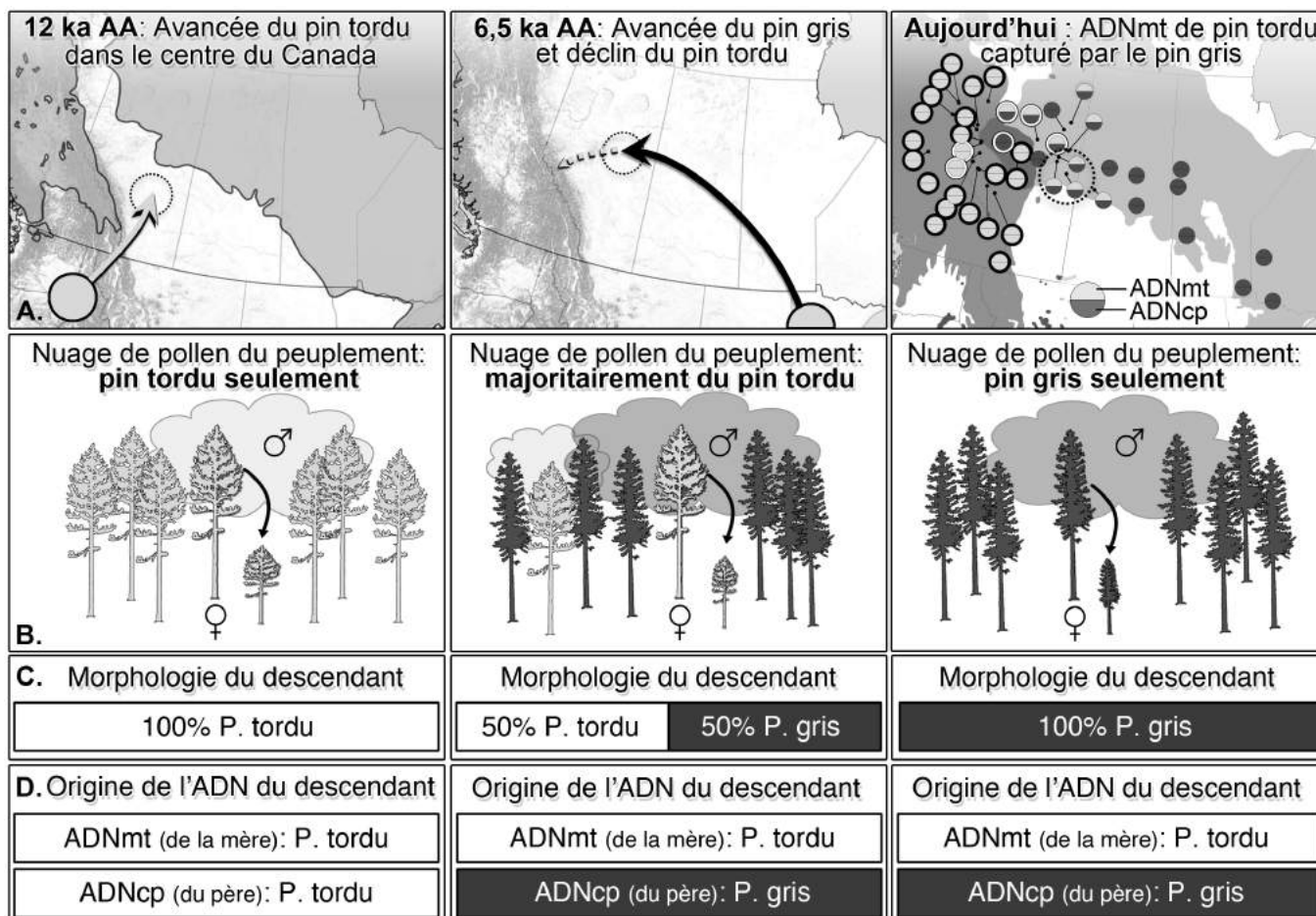


Figure 4. Schéma représentant le processus de capture de l'ADN mitochondrial tel qu'il se serait opéré entre le pin gris et le pin tordu depuis la fin de la dernière glaciation. Ce processus est représenté sur 4 niveaux (horizontalement) pour 3 époques différentes (verticalement). A. Mouvements présumés des 2 espèces dans la région du centre de l'Alberta (encerclée en pointillés sur la figure). Sur la carte correspondant à l'époque contemporaine, le résultat de cette capture est représenté à l'endroit où chaque population a été associée à l'une ou l'autre des espèces pour l'ADNmt (demi-cercle du haut) ou pour l'ADNcp (demi-cercle du bas). B. Présentation schématique d'un peuplement type trouvé dans cette région spécifique pour chacune des époques. Le nuage correspond au pollen présent dans ce peuplement et sa taille correspond à la proportion relative de chacune des 2 espèces présentes dans le peuplement. L'arbre de plus petite taille correspond au descendant issu du croisement entre l'arbre (identifié comme femelle et dont émerge la flèche) et d'un grain de pollen du nuage pollinique ambiant (identifié comme mâle). C. Morphologie de ce descendant. D. Espèce d'origine de l'ADNmt et de l'ADNcp pour ce descendant. La couleur blanche réfère au pin tordu et la couleur gris foncé, au pin gris. Le terme ka AA réfère à 1000 années avant l'année actuelle.

orientées nord-sud, les Cascades et les Rocheuses pour le pin tordu (Godbout et collab., 2008) et les Appalaches pour le pin gris (Godbout et collab., 2005; 2010), ont constitué des facteurs de vicariance au cours de l'ère glaciaire, en entravant le mouvement des graines entre les différents refuges. Dans l'est du continent, une structuration géographique similaire à celle du pin gris a été précédemment détectée chez l'épinette noire, un autre conifère de la région boréale (Jaramillo-Correa et collab., 2004; Gérardi et collab., 2010).

Par contre, les Appalaches auraient eu moins d'effet sur la différenciation génétique des populations de diverses espèces de feuillus, tels le chêne rouge (*Quercus rubra*: Magni et collab., 2005), l'érable rouge (*Acer rubrum*: McLachlan et collab., 2005; Gugger et collab., 2008), le noyer noir (*Juglans*

*nigra*: Victory et collab., 2006), ou d'un conifère tel que la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*: Lemieux et collab., 2011). Nous pouvons donc proposer que l'effet de vicariance des Appalaches aurait été plus important au nord, près de la calotte glaciaire, là où se trouvaient des espèces boréales comme le pin gris ou l'épinette noire, qu'au sud. Enfin, si cette chaîne de montagnes a limité les échanges de graines entre les peuplements de pin gris situés de part et d'autre, son effet sur le flux génique découlant du mouvement du pollen est moins clair. En effet, l'analyse ne s'est pas avérée concluante puisque la vaste majorité des chlorotypes étaient partagés par les populations du pin gris de l'ouest et de l'est (Godbout et collab., 2010). Des observations similaires ont été faites au sujet de la répartition des chlorotypes d'épinette noire dans

l'est du Canada (Gérardi et collab., 2010). Dans un cas comme dans l'autre, il est difficile de conclure s'il s'agit d'un effet du flux de pollen datant de la dernière glaciation ou d'un effet plus récent et qui daterait de l'Holocène.

Dans l'ouest, chez le pin tordu, la discontinuité génétique mitochondriale associée à la chaîne des Cascades (Godbout et collab., 2008) correspond à un patron communément rencontré dans la région du Pacifique Nord-Ouest (Carstens et collab., 2005; Jaramillo-Correa et collab., 2009; Shafer et collab., 2010; Wei et collab., 2011). Le rôle des Rocheuses et l'emplacement d'une zone refuge génétiquement distincte à l'est de cette chaîne de montagnes (figure 3; Godbout et collab., 2008) sont cependant moins documentés. La plus faible diversité génétique détectée aujourd'hui dans ces populations de pin tordu situées sur le flanc est des Rocheuses suggère une population glaciaire de petite taille.

Nos études ont permis de mettre en évidence l'importance des zones côtières dans la structuration géographique des populations de pin gris et du pin tordu. Plus particulièrement, nous détectons leur influence sous les hautes latitudes : dans la région des provinces maritimes de l'est du Canada pour le pin gris et autour de la région de l'archipel Haida Gwaii pour le pin tordu. La région Atlantique a été la première, dans l'est du continent, à se retrouver libre de glace à la fin de la dernière glaciation (Dyke et collab., 2003). Précédemment, la présence de plusieurs espèces arctiques dans les régions de la Gaspésie et de l'île du Cap-Breton, que l'on trouve aussi dans les montagnes Rocheuses, a été interprétée comme la preuve de refuges glaciaires dans des NUNATAKS de ces régions (Fernald, 1925). Aujourd'hui, nous considérons plutôt que ces populations isolées représentent des reliques d'espèces autrefois plus étendues (Holland, 1981). De plus, l'utilisation d'une voie de colonisation constituée des hauts-fonds des différents bancs entre le banc de Georges, au large de Cape Cod, et la Nouvelle-Écosse a aussi été proposée pour expliquer la répartition disjointe de représentants de la flore côtière (Keddy et Wisheu, 1989). Enfin, des lignées génétiques distinctes, similaires à celles observées chez le pin gris, ont précédemment été détectées dans la région Atlantique pour diverses espèces animales (Sei et Porter, 2007; Lee-Yaw et collab., 2008) et végétales (Walter et Epperson, 2001; Jaramillo-Correa et collab., 2004; Boys et collab., 2005; Walter et Epperson, 2005; Gérardi et collab., 2010). Ces différents indices, joints à la diversité topographique, climatique et édaphique de la région, témoignent d'une histoire postglaciaire complexe et vraisemblablement différente pour les espèces peuplant aujourd'hui la région (Clayden, 2000; Barrington et Paris, 2007; Clayden et collab., 2010).

L'hypothèse d'un refuge dans l'archipel Haida Gwaii sur la côte du Pacifique a d'abord été basée sur le fait que cette région présentait plusieurs espèces endémiques ou avec une aire de répartition disjointe (Hultén, 1937; Heusser, 1960). Aujourd'hui, plusieurs preuves phylogéographiques supportent l'existence de ce refuge, pour une autre espèce de conifère (Gapare et Aitken, 2005; Gapare et collab., 2005), pour diverses plantes (Soltis et collab., 1997) et pour des espèces animales (Janzen et collab.,

2002; Burg et collab., 2005; Pruett et Winker, 2005; Burg et collab., 2006). Ces différents résultats et ceux tirés de l'analyse des données fossiles (Lacourse et collab., 2003, 2005) suggèrent la présence d'une grande biodiversité au sein de ce refuge au cours de l'époque glaciaire.

L'analyse de la diversité de l'ADN mitochondrial du pin tordu n'a pas permis d'élucider de façon concluante l'hypothèse d'un refuge dans la région de la Béringie (figure 3 : le point d'interrogation). En effet, un groupe de populations de la sous-espèce *latifolia* situées au Yukon et au nord de la Colombie-Britannique, et présentant l'haplotype XVIII (figure 2a), a été identifié comme distinct par une analyse de groupement bayésienne (Godbout et collab., 2008). Ce regroupement pourrait indiquer l'existence d'un refuge glaciaire génétiquement distinct au nord des populations actuelles. Néanmoins, il est aussi possible que cet haplotype ait dérivé de l'haplotype XVI, associé à la sous-espèce *contorta* de la côte (figure 2a). Ainsi, bien que le faible taux de mutation associé à l'ADNmt favoriserait l'hypothèse d'un refuge BÉRINGIEN (Laroche et collab., 1997), d'autres études portant sur le pin tordu ont aussi détecté des similarités (Critchfield, 1985) entre ces populations du nord, de la sous-espèce *latifolia*, et celles de la côte, de la sous-espèce *contorta*. Plus récemment, une nouvelle variété de pin tordu (var. *yukonensis*) a été proposée pour différents peuplements du Yukon qui présenteraient des caractéristiques typiques de la sous-espèce côtière (Strong, 2010). Ces éléments pourraient suggérer l'existence d'une population glaciaire génétiquement distincte vers le nord-ouest et plus ou moins proche de la côte, et dont la répartition serait aujourd'hui relativement restreinte.

### Perspectives : conservation de la diversité génétique et adaptation aux changements climatiques ?

Les populations qui ont été isolées au cours de leur histoire sont susceptibles d'avoir accumulé des différences génétiques résultant du fait qu'elles auront été exposées à des pressions de sélection divergentes. Ainsi, même si les lignées phylogéographiques décrites plus haut ont pu être déterminées sur la base de marqueurs génétiques à pression d'évolution neutre, elles pourraient néanmoins présenter des adaptations particulières et évolutivement significatives (Avisé, 2000). Par exemple, les populations ayant survécu à la période glaciaire dans des refuges côtiers pourraient s'avérer mieux adaptées aux conditions maritimes par rapport à celles provenant des refuges continentaux, qui pourraient présenter des adaptations particulières à un climat plus sec et à des variations de températures annuelles plus grandes. Un tel scénario a été suggéré pour expliquer la moins grande rusticité de l'épinette rouge comparativement à celle de l'épinette noire, à la suite de la divergence probable de cette espèce à partir d'un refuge d'épinette noire isolé le long de la côte est de l'Amérique du Nord durant le Pléistocène (Perron et collab., 2000; Jaramillo-Correa et Bousquet, 2003; Jaramillo-Correa et collab., 2004; Jaramillo-Correa et Bousquet, 2005). Il pourrait

donc s'avérer intéressant de rechercher, pour ces 2 espèces de pins, des allèles qui seraient associés à de telles adaptations et qui seraient apparus durant la glaciation dans les différents refuges glaciaires. Par exemple, chez le pin gris, la plupart des populations du Nouveau-Brunswick sont homogènes et représentatives d'une population glaciaire génétiquement distincte qui aurait survécu dans un environnement côtier immédiatement au sud de la calotte glaciaire (Godbout et collab., 2010). Ces arbres pourraient donc présenter des adaptations typiques de ces environnements maritimes.

Dans le même ordre d'idées, une meilleure connaissance de la structure phylogéographique des populations permettrait une détection plus efficace des signatures de sélection associées à l'adaptation lors d'analyses impliquant le balayage du génome (Excoffier et collab., 2009). Ainsi, en considérant la structure génétique historique d'origine glaciaire dans la recherche des polymorphismes d'ADN associés à des caractères adaptatifs, il serait possible d'éliminer, par des méthodes appropriées, la détection de faux signaux d'adaptation du génome qui découleraient de l'effet de la dérive qui aurait éliminé certains allèles dans une lignée, mais pas dans les autres (Prunier et collab., 2012).

À l'échelle interspécifique, l'effet de l'hybridation naturelle résulte souvent en une augmentation de la diversité génétique des espèces (Rieseberg et Wendel, 1993). Les populations de pin gris du centre du Canada (figure 4a) peuvent avoir bénéficié des échanges génétiques avec le pin tordu datant de l'Holocène (figure 4b) en intégrant certains allèles potentiellement mieux adaptés à cette région du centre du continent. De plus, plusieurs arbres de ces populations de pins gris ont capturé l'ADNmt du pin tordu. L'avantage évolutif de l'association des génomes cytoplasmiques et nucléaires n'est pas encore bien compris (Dowling et collab., 2008). Néanmoins, différentes études ont mis en évidence un effet adaptatif relié à l'association des génomes cyto-nucléaires (Blier et collab., 2001 ; Katewa et Ballard, 2007).

Ces dernières considérations s'appliquent aussi au point de vue intraspécifique. En effet, les zones de contact, issues de la rencontre entre différentes lignées génétiquement distinctes, peuvent présenter des nouvelles combinaisons de génomes cytoplasmiques (suivant un phénomène de « capture » intraspécifique) et une diversité génétique augmentée sur laquelle la sélection naturelle aurait pu agir. De plus, l'effet de la recombinaison peut avoir produit, au sujet du génome nucléaire, des génotypes inédits présentant des adaptations nouvelles. Pour le pin gris, une telle zone de contact tripartite a été identifiée dans le centre du Québec (zone 3, figure 3 ; Godbout et collab., 2005). Pour le pin tordu, une telle zone de grande diversité génétique se trouve au centre de la Colombie-Britannique, entre les chaînes côtières des Cascades et des Rocheuses, et inclut des mitotypes typiques des sous-espèces *latifolia* et *contorta* (zone 1, figure 3 ; Godbout et collab., 2008). Ces régions affichent une plus grande diversité génétique de l'ADNmt, qui pourrait être reliée à une plus grande diversité du génome nucléaire et à de meilleures caractéristiques de performance et d'adaptation (M. Perron, ministère des

Ressources naturelles du Québec, communication personnelle). Enfin, des preuves de coadaptation cyto-nucléaire au sein d'une même espèce ont précédemment été détectées, indiquant que de tels effets peuvent aussi s'avérer significatifs entre différentes lignées intraspécifiques et non pas seulement entre différents taxons (Moison et collab., 2010).

Enfin, les résultats présentés ici pourront certainement être utilisés dans un cadre de conservation des ressources génétiques. En effet, l'identification des lignées ancestrales et de leurs zones de contact pour chacune de ces 2 espèces de pins permet la délimitation d'unités évolutivement significatives (ou *Evolutionary Significant Unit*, ESU). C'est à l'intérieur de ces unités qu'il sera par la suite possible de dessiner un réseau d'aires protégées pour des fins de conservation. De plus, l'identification de ces unités pourra servir de guide dans l'élaboration d'une stratégie de gestion des ressources génétiques (Funk et collab., 2012). Plus concrètement et dans la perspective des changements climatiques actuels et futurs, la conservation de populations de pins gris et de pins tordus provenant des différents refuges glaciaires et des différentes zones de contact permettra la sauvegarde de l'ensemble du réservoir génétique des 2 espèces. En effet, les populations de ces différents groupes, identifiés comme génétiquement distincts, possèdent un potentiel adaptatif qui est lui aussi différent. Des représentants de ces différents groupes génétiques devraient donc être considérés dans la constitution de banques de graines.

Les espèces dont il est question ici ne sont pas menacées d'extinction dans la perspective des changements climatiques actuels. En effet, leur grande taille effective, leur vaste répartition, leur grande fécondité et leur qualité d'espèces pionnières leur permettraient de survivre à des modifications importantes du climat (Bürger et Lynch, 1995 ; Aitken et collab., 2008). Néanmoins, le pin gris a été identifié comme une espèce qui devrait bénéficier de mesures de conservation *in situ* et *ex situ* selon un sondage réalisé auprès de différents experts forestiers au Canada (Beardmore et collab., 2006). De plus, on évalue que la fréquence d'occurrence du pin tordu diminuerait de 13 % à 50 % pour les horizons respectifs de 2025 et 2085 suivant un scénario de changements climatiques dans la province de la Colombie-Britannique (Hamann et Wang, 2006).

Enfin, les changements climatiques peuvent également se traduire par des effets indirects causés par des stress biotiques. Pour le pin tordu, l'intensité de la présente invasion de dendroctones du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) serait liée au réchauffement des hivers qui ne permettraient plus une diminution suffisante des populations d'insectes durant la saison froide (Hicke et collab., 2006). L'insecte pourrait également se propager vers l'est dans les populations de pin gris, puisqu'il a été détecté dans la zone de sympatrie entre le pin tordu et le pin gris en Alberta (Cullingham et collab., 2011). Les interactions existant entre le champignon causant la maladie, l'insecte et la diversité génétique chez ces 2 espèces sont présentement à l'étude dans le cadre du grand projet de génomique TRIA (TRIA, 2013). Les résultats sur la phylogéographie présentés ici ont d'ailleurs été intégrés à ces travaux (Cullingham et collab., 2012 ; Tsui et collab., 2012). ◀

## Lexique

- ADN CHLOROPLASTIQUE (ADNcp): ADN contenu dans le chloroplaste.
- ADN MITOCHONDRIAL (ADNmt): ADN contenu dans la mitochondrie.
- BÉRINGIEN: De Béringie, cet adjectif réfère à la région géographique entourant le détroit de Béring situé entre la Sibérie, en Russie, et l'Alaska, aux États-Unis.
- CHLOROPLASTE: Organite responsable de la photosynthèse dans la cellule végétale.
- CHLOROTYPE: Correspond à une des formes trouvées pour un marqueur génétique de l'ADN chloroplastique ou un ensemble de ceux-ci.
- DIPLOÏDE: Se dit d'un génome dont le ou les chromosomes sont présents en 2 copies.
- HAPLOÏDE: Se dit d'un génome dont le ou les chromosomes sont présents en une seule copie.
- INTROGRESSION: L'introgression est le résultat d'évènements d'hybridation anciens ayant causé le transfert de gènes ou de portions de génome d'une espèce à une autre.
- LIGNÉE MATERNELLE ET/OU GLACIAIRE: Réfère à un groupe de populations qui aurait une origine commune. Nous parlons de lignée maternelle si elles sont détectées à l'aide de marqueurs génétiques transmis par la mère (tels que ceux issus de l'ADNmt chez les pins). Les lignées glaciaires correspondent aux populations qui descendraient d'un même refuge glaciaire.
- MARQUEUR GÉNÉTIQUE: Région du génome qui présente des variations (ou polymorphismes) et qui est utilisée afin de mesurer la diversité génétique d'un ou des individus.
- MINISATELLITE: Région du génome qui présente la particularité de posséder des séquences de 10 à 60 nucléotides répétées en tandem. Le polymorphisme du marqueur génétique de type minisatellite consistera donc en des différences quant au nombre de répétitions du motif de nucléotides pour chacun des individus étudiés.
- MITOCHONDRIE: Organite responsable de la respiration dans la cellule.
- MITOTYPE: Correspond à une des formes trouvées pour un marqueur génétique de l'ADN mitochondrial ou un ensemble de ceux-ci.
- NUNATAK: Une région dénuée de glace, entourée de glaciers. Réfère le plus souvent à un sommet de montagne.
- ORGANITE: Structures compartimentées et spécialisées trouvées dans le cytoplasme des cellules. Elles sont impliquées dans différentes fonctions cellulaires.
- PLOÏDIE: Réfère au nombre de copies de chromosomes trouvés dans un génome (voir haploïde et diploïde).
- VICARIANCE: Phénomène selon lequel une population ancestrale est séparée en 2 ou plusieurs sous-populations qui n'échangent plus de gènes entre elles. Cet isolement entraîne au fil du temps une différenciation génétique des 2 sous-populations (suivant l'action de la dérive génétique – voir encadré).

## Références

- AITKEN, S.N., S. YEAMAN, J.A. HOLLIDAY, T. WANG et S. CURTIS-MCLANE, 2008. Adaptation, migration ou extirpation: Climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1: 95-111.
- AVISE, J.C., 2000. *Phylogeography: The history and formation of species*. Harvard University Press, Cambridge, 464 p.
- BAGNOLI, F., B. FADY, S. FINESCHI, S. ODDOU-MURATORIO, A. PIOTTI, F. SEBASTIANI et G.G. VENDRAMIN, 2011. Neutral pattern of genetic variation and applications to conservation in conifer species. Dans: PLOMION, C., J. BOUSQUET et C. KOLE (édit.). *Genetics, genomics and breeding of conifer*. CRC Press et Edenbridge Science Publishers, New York, p. 141-195.
- BARRINGTON, D.S. et C.A. PARIS, 2007. Refugia and migration in the Quaternary history of the New England flora. *Rhodora*, 109: 369-386.
- BASSETT, I.J., C.W. CROMPTON et J.A. PARMELEE, 1978. *An atlas of airborne pollen grains and common fungus spores of Canada*. Department of Agriculture, Ottawa, 321 p.
- BEARDMORE, T., J. LOO, B. MCAFFEE, C. MALOUIN et D. SIMPSON, 2006. A survey of tree species of concern in Canada: The role for genetic conservation. *Forestry Chronicle*, 82: 351-363.
- BLIER, P.U., F. DUFRESNE et R.S. BURTON, 2001. Natural selection and the evolution of mtDNA-encoded peptides: evidence for intergenomic co-adaptation. *Trends in Genetics*, 17: 400-406.
- BOYS, J., M. CHERRY et S. DAYANANDAN, 2005. Microsatellite analysis reveals genetically distinct populations of red pine (*Pinus resinosa*, Pinaceae). *American Journal of Botany*, 92: 833-841.
- BURBAN, C. et R.J. PETIT, 2003. Phylogeography of maritime pine inferred with organelle markers having contrasted inheritance. *Molecular Ecology*, 12: 1487-1495.
- BURG, T.M., A.J. GASTON, K. WINKER et V.L. FRIESEN, 2005. Rapid divergence and postglacial colonization in western North American Steller's jays (*Cyanocitta stelleri*). *Molecular Ecology*, 14: 3745-3755.
- BURG, T.M., A.J. GASTON, K. WINKER et V.L. FRIESEN, 2006. Effects of Pleistocene glaciations on population structure of North American chestnut-backed chickadees. *Molecular Ecology*, 15: 2409-2419.
- BÜRGER, R. et M. LYNCH, 1995. Evolution and extinction in a changing environment: A quantitative-genetic analysis. *Evolution*, 49: 151-163.
- CARSTENS, B.C., S.J. BRUNSFELD, J.R. DEMBOSKI, J.M. GOOD et J. SULLIVAN, 2005. Investigating the evolutionary history of the Pacific Northwest mesic forest ecosystem: Hypothesis testing within a comparative phylogeographic framework. *Evolution*, 59: 1639-1652.
- CLAGUE, J.J., 1981. Late Quaternary geology and geochronology of British Columbia. Part 2: Summary and discussion of radiocarbon-dated Quaternary history. *Geological Survey of Canada*, Ottawa, 41 p.
- CLAGUE, J.J., 1989. Cordilleran ice sheet. Dans: FULTON, R.J. (édit.). *Quaternary Geology of Canada and Greenland*. Geological Survey of Canada, Ottawa, p. 40-42.
- CLAGUE, J.J. et T.S. JAMES, 2002. History and isostatic effects of the last ice sheet in southern British Columbia. *Quaternary Science Reviews*, 21: 71-87.
- CLAGUE, J., J.R. HARPER, R.J. HEBDA et D. HOWES, 1982. Late Quaternary sea levels and crustal movements, coastal British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 19: 597-618.
- CLARK, P.U. et A.C. MIX, 2002. Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21: 1-7.
- CLAYDEN, S.R., 2000. History, physical setting, and regional variation of the flora. Dans: Hinds, H.R. (édit.). *Flora of New Brunswick*. Biology Department, University of New Brunswick, Fredericton, p. 33-73.
- CLAYDEN, S.R., M.C. MUNRO, S. BLANEY et S.P. VANDER KLOET, 2010. Vascular flora of the Atlantic Maritime Ecozone: Some new perspectives. Dans: McAlpine, D.F. et I.M. Smith (édit.). *Assessment of species diversity in the Atlantic Maritime Ecozone*. NRC Research Press, Ottawa, p. 197-214.
- COX, C.B. et P.D. MOORE, 2005. *Biogeography: An ecological and evolutionary approach*. 7<sup>e</sup> édition. Blackwell Publishing, Malden, 428 p.
- CRITCHFIELD, W.B., 1985. The late Quaternary history of lodgepole and jack pines. *Canadian Journal of Forest Research*, 15: 749-772.
- CRITCHFIELD, W.B. et E.L. LITTLE, 1966. *Geographic distribution of the pines of the world*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, 97 p.
- CULLINGHAM, C.I., J.E.K. COOKE, S. DANG, C.S. DAVIS, B.J. COOKE et D.W. COLTMAN, 2011. Mountain pine beetle host-range expansion threatens the boreal forest. *Molecular Ecology*, 20: 2157-2171.
- CULLINGHAM, C.I., P. JAMES, J.E. COOKE et D.W. COLTMAN, 2012. Characterizing the physical and genetic structure of the lodgepole pine x jack pine hybrid zone: Mosaic structure and differential introgression. *Evolutionary Applications*, 5: 879-891.
- CWYNAR, L.C. et G.M. MACDONALD, 1987. Geographical variation of lodgepole pine in relation to population history. *American Naturalist*, 129: 463-469.
- DAVIS, M.B., 1983. Quaternary history of deciduous forests of eastern North America and Europe. *Annals of The Missouri Botanical Garden*, 70: 550-563.
- DONG, J. et D.B. WAGNER, 1993. Taxonomic and population differentiation of mitochondrial diversity in *Pinus banksiana* and *Pinus contorta*. *Theoretical and Applied Genetics*, 86: 573-578.
- DOWLING, D.K., U. FRIBERG et J. LINDELL, 2008. Evolutionary implications of non-neutral mitochondrial genetic variation. *Trends in Ecology & Evolution*, 23: 546-554.

- DU, F.K., R.J. PETIT et J.Q. LIU, 2009. More introgression with less gene flow: Chloroplast vs. mitochondrial DNA in the *Picea asperata* complex in China, and comparison with other conifers. *Molecular Ecology*, 18: 1396-1407.
- DYKE, A.S. et V.K. PREST, 1987. Paleogeography of northern North America, 18000–5000 years ago. Geological Survey of Canada, Ottawa, carte 1703A, échelle: 1: 12 500 000.
- DYKE, A.S., J.T. ANDREWS, P.U. CLARK, J.H. ENGLAND, G.H. MILLER, J. SHAW et J.J. VEILLETTE, 2002. The Laurentide and Innuitian ice sheets during the last glacial maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21: 9-31.
- DYKE, A.S., A. MOORE et L. ROBERTSON, 2003. Deglaciation of North America. Geological Survey of Canada, Ottawa, Open File 1574.
- ENNOS, R.A., 1994. Estimating the relative rates of pollen and seed migration among plant populations. *Heredity*, 72: 250-259.
- EXCOFFIER, L., T. HOFER et M. FOLL, 2009. Detecting loci under selection in a hierarchically structured population. *Heredity*, 103: 285-298.
- FERNALD, M.L., 1925. Persistence of plants in unglaciated areas of North America. *Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences*, 15: 237-342.
- FUNK, W.C., J.K. MCKAY, P.A. HOHENLOHE et W.F. ALLERDORF, 2012. Harnessing genomics for delineating conservation units. *Trends in Ecology and Evolution*, 27: 489-496.
- GAMACHE, I., J.P. JARAMILLO-CORREA, S. PAYETTE et J. BOUSQUET, 2003. Diverging patterns of mitochondrial and nuclear DNA diversity in subarctic black spruce: Imprint of a founder effect associated with postglacial colonization. *Molecular Ecology*, 12: 891-901.
- GAPARE, W.J. et S.N. AITKEN, 2005. Strong spatial genetic structure in peripheral but not core populations of Sitka spruce [*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.]. *Molecular Ecology*, 14: 2659-2667.
- GAPARE, W.J., S.N. AITKEN et C.E. RITLAND, 2005. Genetic diversity of core and peripheral Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr) populations: Implications for conservation of widespread species. *Biological Conservation*, 123: 113-123.
- GÉRARDI, S., J.P. JARAMILLO-CORREA, J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2010. From glacial refugia to modern populations: New assemblages of organelle genomes generated by differential cytoplasmic gene flow in transcontinental black spruce. *Molecular Ecology*, 19: 5265-5280.
- GODBOUT, J., J.P. JARAMILLO-CORREA, J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2005. A mitochondrial DNA minisatellite reveals the postglacial history of jack pine (*Pinus banksiana*), a broad-range North American conifer. *Molecular Ecology*, 14: 3497-3512.
- GODBOUT, J., A. FAZEKAS, C.H. NEWTON, F.C. YEH et J. BOUSQUET, 2008. Glacial vicariance in the Pacific Northwest: Evidence from a lodgepole pine mitochondrial DNA minisatellite for multiple genetically distinct and widely separated refugia. *Molecular Ecology*, 17: 2463-2475.
- GODBOUT, J., J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2010. Phylogeographic structure of jack pine (*Pinus banksiana*; Pinaceae) supports the existence of a coastal glacial refugium in northeastern North America. *American Journal of Botany*, 97: 1903-1912.
- GODBOUT, J., F.C. YEH et J. BOUSQUET, 2012. Large-scale asymmetric introgression of cytoplasmic DNA reveals Holocene range displacement in a North American boreal pine complex. *Ecology and Evolution*, 2: 1853-1866.
- GOEBEL, T., M. WATERS et D.H. O'ROURKE, 2008. The late Pleistocene dispersal of modern humans in the Americas. *Science*, 319: 1497-1502.
- GUGGER, P.F., J.S. MCLACHLAN, P.S. MANOS et J.S. CLARK, 2008. Inferring long distance dispersal and topographic barriers during post glacial colonization from the genetic structure of red maple (*Acer rubrum* L.) in New England. *Journal of Biogeography*, 35: 1665-1673.
- HAMANN, A. et T. WANG, 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology*, 87: 2773-2786.
- HAMPE, A. et R.J. PETIT, 2005. Conserving biodiversity under climate change: The rear edge matters. *Ecology Letters*, 8: 461-467.
- HAMRICK, J.L., 2004. Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management*, 197: 323-335.
- HEUSSER, C.J., 1960. Late Pleistocene environments of North Pacific North America. *American Geographical Society, New York*, 308 p.
- HEWITT, G.M., 1996. Some genetic consequences of ice ages, and their role, in divergence and speciation. *Biological Journal Of The Linnean Society*, 58: 247-276.
- HEWITT, G.M., 2004. Genetic consequences of climatic oscillations in the Quaternary. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359: 183-195.
- HICKE, J.A., J.A. LOGAN, J. POWELL et D.S. OJIMA, 2006. Changing temperatures influence suitability for modeled mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) outbreaks in the western United States. *Journal of Geophysical Research*, G02019: 1-12.
- HOLLAND, P.G., 1981. Pleistocene refuge areas, and the revegetation of Nova Scotia, Canada. *Progress in Physical Geography*, 5: 535-562.
- HUGHEN, K.A., J.T. OVERPECK, S. LEHMAN, M. KASHGARIAN, J. SOUTHON, L.C. PETERSON, R. ALLEY et D.M. SIGMAN, 1998. Deglacial changes in ocean circulation from an extended radiocarbon calibration. *Nature*, 391: 65-68.
- HULTÉN, E., 1937. Outline of the history of Arctic and boreal biota during the Quaternary period. *Bokförlags aktiebolaget Thule, Stockholm*, 168 p.
- JACKSON, S.T., J.T. OVERPECK, T. WEBB III, S.E. KEATTCH et K.H. ANDERSON, 1997. Mapped plant-macrofossil and pollen records of late Quaternary vegetation change in eastern North America. *Quaternary Science Reviews*, 16: 1-70.
- JACKSON, S.T., R.S. WEBB, K.H. ANDERSON, J.T. OVERPECK, T. WEBB III, J.W. WILLIAMS et B.C.S. HANSEN, 2000. Vegetation and environment in eastern North America during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19: 489-508.
- JANZEN, F.J., J.G. KRENZ, T.S. HASELKORN et E.D. BRODIE, 2002. Molecular phylogeography of common garter snakes (*Thamnophis sirtalis*) in western North America: Implications for regional historical forces. *Molecular Ecology*, 11: 1739-1751.
- JARAMILLO-CORREA, J.P. et J. BOUSQUET, 2003. New evidence from mitochondrial DNA of a progenitor-derivative species relationship between black spruce and red spruce (Pinaceae). *American Journal of Botany*, 92: 1801-1806.
- JARAMILLO-CORREA, J.P. et J. BOUSQUET, 2005. Mitochondrial genome recombination in the zone of contact between two hybridizing conifers. *Genetics*, 171: 1951-1962.
- JARAMILLO-CORREA, J.P., J. BOUSQUET, J. BEAULIEU, N. ISABEL, M. PERRON et M. BOUILLÉ, 2003. Cross-species amplification of mitochondrial DNA sequence-tagged-site markers in conifers: The nature of polymorphism and variation within and among species in *Picea*. *Theoretical and Applied Genetics*, 106: 1353-1367.
- JARAMILLO-CORREA, J.P., J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2004. Variation in mitochondrial DNA reveals multiple distant glacial refugia in black spruce (*Picea mariana*), a transcontinental North American conifer. *Molecular Ecology*, 13: 2735-2747.
- JARAMILLO-CORREA, J.P., J. Beaulieu, F.T. Ledig et J. Bousquet, 2006. Decoupled mitochondrial and chloroplast DNA population structure reveals Holocene collapse and population isolation in a threatened Mexican endemic conifer. *Molecular Ecology*, 15: 2787-2800.
- JARAMILLO-CORREA, J.P., J. BEAULIEU, D.P. KHASA et J. BOUSQUET, 2009. Inferring the past from the present phylogeographic structure of North American forest trees: Seeing the forest for the genes. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 286-307.
- KATEWA, S.D. et J.W.O. BALLARD, 2007. Sympatric *Drosophila simulans* flies with distinct mtDNA show age related differences in mitochondrial metabolism. *Insect biochemistry and molecular biology*, 37: 923-932.
- KEDDY, P.A. et I.C. WISHEU, 1989. Ecology, biogeography, and conservation of coastal plain plants: Some general principles from the study of Nova Scotian wetlands. *Rhodora*, 91: 72-94.
- LACOURSE, T., R.W. MATHEWES et D.W. FEDJE, 2003. Paleocology of late-glacial terrestrial deposits with in situ conifers from the submerged continental shelf of western Canada. *Quaternary Research*, 60: 180-188.
- LACOURSE, T., R.W. MATHEWES et D.W. FEDJE, 2005. Late-glacial vegetation dynamics of the Queen Charlotte Islands and adjacent continental shelf, British Columbia, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 226: 36-57.

- LAROCHE, J., P. LI, L. MAGGIA et J. BOUSQUET, 1997. Molecular evolution of angiosperm mitochondrial introns and exons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94: 5722-5727.
- LEE-YAW, J.A., J.T. IRWIN et D.M. GREEN, 2008. Postglacial range expansion from northern refugia by the wood frog, *Rana sylvatica*. *Molecular Ecology*, 17: 867-884.
- LEMIEUX, M.J., J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2011. Chloroplast DNA polymorphisms in eastern hemlock: Range-wide genogeographic analyses and implications for gene conservation. *Canadian Journal of Forest Research*, 41: 1047-1059.
- LOTAN, J.E. et W.B. CRITCHFIELD, 1990. *Pinus contorta* Dougl. ex. Loud. Dans: BURNS, R.M. et B.H. HONKALA (édit.). *Silvics of North America*, Volume 1: Conifers. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, p. 302-315.
- MACDONALD, G.M., L.C. CWCYNAR et C. WHITLOCK, 1998. The late Quaternary dynamics of pines in northern North America. Dans: RICHARDSON, D.M. (édit.). *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 122-136.
- MAGNI, C.R., A. DUCOUSO, H. CARON, R.J. PETIT et A. KREMER, 2005. Chloroplast DNA variation of *Quercus rubra* L. in North America and comparison with other Fagaceae. *Molecular Ecology*, 14: 513-524.
- MATTHEWS, J.V.J., T.W. ANDERSON et M. BOYKO-DIAKONOW, 1989. Quaternary environments in Canada as documented by paleobotanical case histories. Dans: FULTON, R.J. (édit.). *Quaternary geology of Canada and Greenland*. Geological Survey of Canada, Ottawa, p. 483-539.
- MCLACHLAN, J.S., J.S. CLARK et P.S. MANOS, 2005. Molecular indicators of tree migration capacity under rapid climate change. *Ecology*, 86: 2088-2098.
- MIX, A.C., E. BARD et R. SCHNEIDER, 2001. Environmental processes of the Ice Age: Land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quaternary Science Reviews*, 20: 627-657.
- MOISON, M., F. ROUX, M. QUADRADO, R. DUVAL, M. EKOVICH, D.H. LÊ, M. VERZAUX et F. BUDAR, 2010. Cytoplasmic phylogeny and evidence of cyto-nuclear co-adaptation in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 63: 728-738.
- PERRON, M., D.J. PERRY, C. ANDALO et J. BOUSQUET, 2000. Evidence from sequence-tagged-site markers of a recent progenitor-derivative species pair in conifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97: 11331-11336.
- PETIT, R.J. et A. HAMPE, 2006. Some evolutionary consequences of being a tree. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 187-214.
- PETIT, R.J. et L. EXCOFFIER, 2009. Gene flow and species delimitation. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 386-393.
- PETIT, R.J., I. AGUINAGALDE, J.-L. DE BEAULIEU, C. BITTKAU, S. BREWER, R. CHEDDADI, R. ENNOS, S. FINESCHI, D. GRIVET, M. LASCoux, A. MOHANTY, G. MÜLLER-STARCK, B. DEMESURE-MUSCH, A. PALMÉ, J.P. MARTÍN, S. RENDELL et G.G. VENDRAMIN, 2003. Glacial refugia: Hotspots but not melting pots of genetic diversity. *Science*, 300: 1563-1565.
- PRUETT, C.L. et K. WINKER, 2005. Northwestern song sparrow populations show genetic effects of sequential colonization. *Molecular Ecology*, 14: 1421-1434.
- PRUNIER, J., S. GÉRARDI, J. LAROCHE, J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2012. Parallel and lineage-specific molecular adaptation to climate in boreal black spruce. *Molecular Ecology*, 21: 4270-4286.
- RIESEBERG, L.H. et J.F. WENDEL, 1993. Introgression and its consequences in plants. Dans: Harrison, R.G. (édit.). *Hybrid zones and the evolutionary process*. Oxford University Press, New York, p. 70-109.
- RITCHIE, J.C., 1987. *Postglacial vegetation of Canada*. Cambridge University Press, Cambridge, 178 p.
- RUDOLPH, T.D. et C.W. YEATMAN, 1982. Genetics of jack pine. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, 60 p.
- RUDOLPH, T.D. et P.R. LAIDL, 1990. *Pinus banksiana* Lamb. Dans: BURNS, R.M. et B.H. HONKALA (édit.). *Silvics of North America*, Volume 1: Conifers. USDA, Forest Service, Washington, p. 280-293.
- SCHOENIKE, R.E., 1976. Geographic variation in jack pine. University of Minnesota Agriculture Experiment Station, Technical Bulletin, 304: 1-49.
- SEI, M. et A.H. PORTER, 2007. Delimiting species boundaries and the conservation genetics of the endangered maritime ringlet butterfly (*Coenonympha nipsisquit* McDunnough). *Molecular Ecology*, 16: 3313-3325.
- SENO, M., K. KIMURA, Y. WATANO, K. UEDA et T. SHIMIZU, 1999. Extensive mitochondrial introgression from *Pinus pumila* to *P. parviflora* var. *pentaphylla* (Pinaceae). *Journal of Plant Research*, 112: 97-105.
- SHAFER, A.B.A., C. CULLINGHAM, S.D. CÔTÉ et D.W. COLTMAN, 2010. Of glaciers and refugia: A decade of study sheds new light on the phylogeography of northwestern North America. *Molecular Ecology*, 19: 4589-4621.
- SHAW, J., D.J.W. PIPER, G.B.J. FADER, E.L. KING, B.J. TODD, T. BELL, M.J. BATTERSON et D.G.E. LIVERMAN, 2006. A conceptual model of the deglaciation of Atlantic Canada. *Quaternary Science Reviews*, 25: 2059-2081.
- SLATKIN, M., 1987. Gene flow and the geographic structure of natural populations. *Science*, 236: 787-792.
- SOLTIS, D.E., M.A. GITZENDANNER, D.D. STRENGE et P.S. SOLTIS, 1997. Chloroplast DNA intraspecific phylogeography of plants from the Pacific Northwest of North America. *Plant Systematics and Evolution*, 206: 353-373.
- SOLTIS, D.E., A.B. MORRIS, J. MCLACHLAN, P.S. MANOS et P. SOLTIS, 2006. Comparative phylogeography of unglaciated eastern North America. *Molecular Ecology*, 15: 4261-4293.
- STEA, R.R., 2004. The Appalachian Glacier Complex in Maritime Canada. Dans: EHLERS, J. et P.L. GIBBARD (édit.). *Quaternary glaciations: Extent and chronology, Part II*. Elsevier, Amsterdam, p. 213-232.
- STRONG, W., 2010. *Pinus contorta* var. *yukonensis* var. nov. (Pinaceae) from south-central Yukon, Canada. *Nordic Journal of Botany*, 28: 448-452.
- TRIA, 2013. The TRIA project. Disponible en ligne à: [www.thetriaproject.ca](http://www.thetriaproject.ca). [Visité le 13-07-18].
- TSUI, C.K.M., A. ROE, Y.A. EL-KASSABY, A.V. RICE, S.M. ALAMOUTI, F.A.H. SPERLING, J.E.K. COOKE, J. BOHLMANN et R.C. HAMELIN, 2012. Population structure and migration pattern of a conifer pathogen, *Grosmannia clavigera*, as influenced by its symbiont, the mountain pine beetle. *Molecular Ecology*, 21: 71-86.
- VICTORY, E.R., J.C. GLAUBITZ, O.E. RHODES Jr et K.E. WOESTE, 2006. Genetic homogeneity in *Juglans nigra* (Juglandaceae) at nuclear microsatellites. *American Journal of Botany*, 93: 118-126.
- WALTER, R. et B.K. EPPERSON, 2001. Geographic pattern of genetic variation in *Pinus resinosa*: Area of greatest diversity is not the origin of postglacial populations. *Molecular Ecology*, 10: 103-111.
- WALTER, R. et B.K. EPPERSON, 2005. Geographic pattern of genetic diversity in *Pinus resinosa*: Contact zone between descendants of glacial refugia. *American Journal of Botany*, 92: 92-100.
- WARD, B.C., M.C. WILSON, D.W. NAGORSEN, D.E. NELSON, J.C. DRIVER et R.J. WIGEN, 2003. Port Eliza cave: North American West Coast interstadial environment and implications for human migrations. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1383-1388.
- WEBB III, T. et P.J. BARTLEIN, 1992. Global changes during the last 3 million years: Climatic controls and biotic responses. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23: 141-173.
- WEI, X.-X., J. BEAULIEU, D.P. KHASA, J. VARGAS-HERNÁNDEZ, J. LÓPEZ-UPTON, B. JAQUISH et J. BOUSQUET, 2011. Range-wide chloroplast and mitochondrial DNA imprints reveal multiple lineages and complex biogeographic history for Douglas-fir in North America. *Tree Genetics and Genomes*, 7: 1025-1040.
- WHEELER, N.C. et R.P. GURIES, 1982. Biogeography of lodgepole pine. *Canadian Journal of Botany*, 60: 1805-1814.
- WILLIAMS, J.W., B.N. SHUMAN, T. WEBB III, P.J. BARTLEIN et P.L. LEDUC, 2004. Late-Quaternary vegetation dynamics in North America: Scaling from taxa to biomes. *Ecological Monographs*, 74: 309-334.
- YEATMAN, C.W., 1967. Biogeography of jack pine. *Canadian Journal of Botany*, 45: 2201-2211.

# Perceptions environnementales et description du paysage de la Nouvelle-France aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles

*Lydia Querrec, Réginald Auger et Louise Fillion*

## Résumé

Cette synthèse, regroupant documents d'archives, récits historiques et interprétations d'historiens et de chercheurs, a pour but de dégager les perceptions environnementales des premiers explorateurs européens à avoir foulé les terres de la Nouvelle-France et, en particulier, celles de la région de Québec. Aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, les Européens ont cherché à acquérir des connaissances sur leur nouvel environnement, souvent au contact de populations amérindiennes. L'établissement des nouveaux arrivants passait par l'acclimatation au territoire afin d'en exploiter les ressources naturelles, en vue de faire de la France une grande puissance au sein de l'Europe. Cette découverte de la Nouvelle-France reflète un engouement pour les sciences naturelles et une certaine sensibilité à la nature. L'appropriation du territoire et l'installation des Européens passaient par une modification de l'environnement dans toute la vallée du Saint-Laurent. Les documents concernant la période historique en Nouvelle-France sont nombreux, mais néanmoins difficiles à repérer et à lire du fait de l'utilisation du vieux français. En réunissant en un seul et même document le fruit de lectures et de réflexions, cet article permet une sensibilisation du lecteur aux étapes initiales de la colonisation et de l'adaptation des premiers occupants européens à leur environnement.

**MOTS CLÉS :** environnement, explorateurs, Nouvelle-France, perceptions, région de Québec

## Abstract

This paper synthesizes archival data, historical narratives and recent interpretations of historians and researchers in order to document the environmental perceptions of the first European occupants of New France, with specific attention to the Quebec City region. During the 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> centuries, Europeans experienced a new environment often through contacts with Native populations. Newcomer settlement was made possible through adaptation to the new territory, with the aim of exploiting its resources in order to place France at the centre of Europe's endeavour to conquer the New World. Reports and observations of New France reflect the learned Society's passion for sciences and its sensitivity to nature. Appropriation of the territory and settlement of Europeans came at the expense of the St. Lawrence Valley landscape. While historical documents pertaining to New France are abundant, they can be difficult to decipher considering they are written in Old French. By combining our readings and our own reflections into one document, our contribution brings awareness to the challenges early European had to overcome.

**KEYWORDS:** Environment, European exploration, Landscape perceptions, New France, Quebec City region

## Introduction

Les premiers mouvements de colonisation de l'Amérique par des Européens ont été initiés par les Norrois qui auraient vraisemblablement fréquenté les régions du Cape Cod, de la Nouvelle-Écosse, de Terre-Neuve, du Labrador et de l'île de Baffin vers l'an 1000 de notre ère (Havard et Vidal, 2008) ; les vestiges archéologiques identifiés au site de l'Anse-aux-Meadows à Terre-Neuve, attestent d'une présence norroise (Jacob, 1984 ; Ingstad et Ingstad, 2001 ; Trudel, 2001 ; Havard et Vidal, 2008). Ce n'est toutefois qu'à la Renaissance, que les explorateurs commencent à décrire ce qu'ils rencontrent sur leur route (Trudel, 2001). Cette période se caractérise par un engouement pour les nouveaux savoirs (astronomie, médecine, botanique : Mathieu, 2009) et, dans ce contexte, les récits de voyages permettent aux nations européennes de découvrir les réalités de ce qu'ils nomment le Nouveau-Monde.

Une multitude de documents d'archives et de récits de voyages donnent certaines informations quant aux perceptions

environnementales qu'avaient ces explorateurs européens en foulant les terres de la Nouvelle-France. À ce chapitre, la région de Québec est particulièrement choyée, car les documents historiques abondent. L'objectif de cette synthèse est de dégager les perceptions environnementales qu'avaient les explorateurs, observateurs et premiers occupants de la Nouvelle-France ainsi que leur vision du territoire et de ses

*Lydia Querrec a obtenu un doctorat en Sciences géographiques à l'Université Laval et s'est spécialisée dans l'étude des paléoenvironnements et dans certains champs d'application de la dendrochronologie, notamment l'étude des bois archéologiques et historiques. Réginald Auger (archéologue, Ph. D.) est professeur titulaire au Département des Sciences historiques de l'Université Laval et responsable du Laboratoire d'archéologie historique. Louise Fillion (géographe, Ph. D.) a été professeure au Département des Sciences géographiques entre 1978 et 2010 et a été récemment nommée professeure émérite de l'Université Laval.*

*[l\\_querrec@yahoo.fr](mailto:l_querrec@yahoo.fr)*

diverses composantes grâce à une analyse de contenu (récits historiques, descriptions botaniques, cartographie).

### Contexte historique de la découverte de la Nouvelle-France par les Européens

Rivales mais aussi partenaires, les puissances atlantiques (Angleterre, Espagne, France et Portugal) ont simultanément parcouru et cartographié les Amériques (Litalien, 1993). Les explorateurs et voyageurs établissent des contacts réguliers avec les nations amérindiennes habitant les régions littorales de l'Atlantique et la vallée du Saint-Laurent et grâce à eux, se développe la connaissance du territoire chez ces nouveaux arrivants (Auger, 2008). Au début du XVI<sup>e</sup> siècle, la France de François I<sup>er</sup> devient elle-même un pays très engagé dans la pêche et le commerce de la morue (*Gadus morhua*) dans l'Atlantique Nord. En 1524, la cour de France commande l'exploration de la côte atlantique par l'Italien Verrazano, depuis la Floride jusqu'à l'île du Cap Breton et Terre-Neuve, sa mission étant de trouver un éventuel passage vers l'Asie (Trudel, 1968; Litalien, 1993). L'existence d'un nouveau continent entre la mer occidentale (Pacifique) et la mer orientale (Atlantique) est confirmée, et ce territoire reçoit l'appellation de Nouvelle-France. Ce toponyme s'applique alors à tout ce que la France revendique ou occupe en Amérique du Nord, de la baie d'Hudson au golfe du Mexique, du golfe du Saint-Laurent à la « Mer de l'Ouest » (Trudel, 2001).

Afin d'asseoir et confirmer la possession de ces terres étrangères par la France, François I<sup>er</sup> appuie et finance des missions d'exploration, dont celles de Jacques Cartier et de Jean-François de La Rocque de Roberval, afin de découvrir un passage vers l'Asie par le Nord-Ouest (Fiset et Samson, 2009; Allaire, 2013). Le voyage effectué en 1534 se solde par 5 mois de navigation depuis le détroit de Belle-Isle, le long de la façade occidentale de Terre-Neuve et de la côte nord du golfe du Saint-Laurent jusqu'à la baie des Chaleurs (Biggar, 1924; Jacob, 1984; Fiset et Samson, 2009). Durant ce périple, Cartier capture 2 Amérindiens, fils du grand chef iroquoien Donnacona, dont il veut se servir comme interprètes. Ces derniers apprennent aux Français que le fleuve Saint-Laurent, une fois le golfe franchi, est immense et navigable jusqu'à Hochelaga (Montréal). Cette unique révélation a constitué un indice du passage à la mer menant à l'Asie et a rapidement entraîné le départ d'un second voyage en 1535-1536 (Biggar, 1924; Litalien, 1993). Les moyens mis en œuvre afin de soutenir cette expédition sont substantiels et permettent à Cartier de disposer de 3 navires, d'une centaine d'hommes et de vivres pour plus d'un an (Havard et Vidal, 2008). À l'issue de ce voyage, Cartier soumet un projet de colonisation à François I<sup>er</sup> (1541-1543), mission que le roi confie plutôt à Jean-François de La Rocque de Roberval, nommé lieutenant-général du Canada. Après un seul hiver passé sur place et à la lumière de besoins plus pressants en Europe, Roberval juge le projet inutile (Jacob, 1984). Roberval avait toutefois démontré qu'il était possible de passer un hiver au Canada, malgré le climat peu favorable (Allaire, 2013).

Même si les pêcheries françaises de Terre-Neuve représentent un atout économique majeur et fournissent une denrée alimentaire précieuse pour l'Europe, le destin colonial de la Nouvelle-France va se jouer sur une demande croissante pour les pelleteries d'Amérique du Nord. Dès 1550, nous pouvons observer les premières bases d'un système d'échanges de fourrures entre Amérindiens et pêcheurs français (Allaire, 1999; Havard et Vidal, 2008). À partir de 1570-1580, l'essor de la mode masculine parisienne du chapeau de feutre de castor (d'une qualité supérieure à celle du feutre de laine d'agneau) entraîne l'importation de fourrures de la vallée du Saint-Laurent. La volonté de s'approprier le commerce des fourrures contribue donc à attiser et à encourager l'exploration du territoire, ce qui donne à la France un prestige politique vis-à-vis des autres pays européens et vient accroître ses chances d'agrandir son empire (Litalien, 1993).

En 1608, accompagné de 27 colons, Samuel de Champlain est chargé de repérer l'emplacement le plus propice à l'implantation d'un comptoir permanent. Pour ce faire, Pierre Dugua de Mons fournit des vivres pour un an et les matériaux nécessaires à la construction d'une habitation fortifiée (Binot, 2004; Hackett Fisher, 2011). Champlain délaisse Tadoussac, un endroit qu'il juge désolant et glacial, entrevoyant pour ce site un avenir plutôt pessimiste. En remontant le fleuve, il découvre en Québec, le lieu idéal à l'implantation d'une future colonie.

Québec est peuplé d'Amérindiens réceptifs à la colonisation et à l'évangélisation et ce lieu a l'avantage d'être localisé dans l'axe du Saint-Laurent et des Grands Lacs, une région susceptible de mener à l'Asie (Moss, 2009; Hackett Fischer, 2011). Champlain y établit une colonie qu'il place sous l'autorité de Dugua de Mons et il fait de Québec le point de départ d'une occupation permanente. Sensible aux ressources de la nature, il organise, grâce aux revenus de la traite des fourrures et des pêcheries, des tentatives d'établissement à travers tout le territoire (Archives Canada-France, 2005). De plus, afin d'accroître la puissance de la France à travers le monde, il devient vital de découvrir des métaux précieux. La recherche de gisements d'or et d'argent occupe donc l'expédition (Berthiaume, 1994).

Sous l'administration de Colbert (1661-1680), les relations économiques internationales visent à renforcer le commerce en faisant de la France une puissance maritime, le rôle des colonies étant de lui fournir les produits dont elle a besoin (Havard et Vidal, 2008). Québec devient rapidement le site de contrôle de la vallée du Saint-Laurent et son port devient le point de départ vers l'intérieur de la colonie. C'est dans ce contexte que les premières sociétés de la Nouvelle-France seront amenées à comprendre et à aménager leur territoire et, au cours des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, à acquérir des connaissances sur ce nouvel environnement. Le milieu naturel devient un vaste terrain d'étude pour les scientifiques et les botanistes qui viennent d'Europe afin d'observer la flore et la végétation de ce nouveau continent (Boucher, 1664; Boivin, 1978; Baillargeon, 1981; Delâge, 1985). Le développement des connaissances est révélateur de l'idéologie du siècle des Lumières qui revendique des espaces de science et de sensibilité à la nature.



## Premiers constats à l'arrivée en Nouvelle-France

### **Acclimatation des premiers colons**

Les milieux naturels qui caractérisaient la région de Québec avant l'établissement des Européens sont relativement bien connus grâce notamment aux études paléoécologiques et palynologiques (Larouche, 1979; Baillargeon, 1981; Filion et collab., 2009; Lavoie et collab., 2010). Si ces études permettent de reconstituer à grands traits les changements environnementaux survenus au cours de l'Holocène (ca 11 000 ans BP jusque vers 1550 AD), les données macrofossiles peuvent, de leur côté, donner de précieuses informations sur la flore locale (Bhiry et Filion, 2001). Nous savons, par exemple, que le couvert végétal a été très modifié sur les rives de la rivière Saint-Charles depuis les premiers établissements humains près de son embouchure (Querrec et collab., 2013).

Les débuts de l'implantation à Québec ont été difficiles, compte tenu des conditions climatiques rigoureuses, de l'éloignement de la métropole et de la frayeur qu'éprouvent les Européens à l'égard des Amérindiens. Les caractéristiques physiques ont contraint les colons à changer leurs habitudes proprement européennes; ils observent le mode de vie des Autochtones, profitent de leurs connaissances du milieu naturel et s'inspirent de leur pratique de l'agriculture et de leurs méthodes de chasse et de cueillette (Berthet, 1992; Litalien, 1993). Les premiers colons français vivent en étroite relation avec le milieu naturel. Avant la pratique de l'agriculture et de l'élevage, le territoire ne peut véritablement assurer la subsistance des colons puisque les ressources alimentaires qui comprennent du gibier, des poissons et des produits de cueillette, suivant le modèle amérindien, sont saisonnières et plutôt imprévisibles (Litalien, 1993). Très tôt cependant, les colons tentent d'exploiter les secteurs en bordure du Saint-Laurent qui paraissent propices à l'agriculture, surtout la frange à topographie plane couverte de sols riches en sédiments fins. Marc Lescarbot (1609) décrit des terres composées de sable gras, en dessous duquel peut être prélevée de la terre argileuse.

### **Explorations du territoire, premières initiatives et découvertes**

#### **Jacques Cartier (1491-1557)**

Comme la première mission de Jacques Cartier en Amérique du Nord n'avait permis que l'exploration des côtes du golfe Saint-Laurent où les découvertes furent jugées plutôt minces, sa deuxième mission visait l'implantation française au cœur de la vallée du Saint-Laurent. Les constats que fait Cartier quant à la découverte d'un nouvel environnement « aussi grand que l'infini » sont précis et bien définis sur les plans géographique et biogéographique, mais aussi ethnologique puisque ses écrits comprennent beaucoup d'informations à propos des Amérindiens. D'une durée d'un an (mai 1535-mai 1536), cette mission d'implantation française en Nouvelle-France fait l'objet d'un récit détaillé, publié de son vivant et jetant les bases d'un véritable projet de colonisation (Jacob,

1984; Litalien, 1993). Bien décidé à découvrir un passage vers l'Asie, Cartier atteint le fleuve qui fut appelé Saint-Laurent en l'honneur du saint du jour (10 août 1535).

La vallée du Saint-Laurent est alors contrôlée par les Iroquoiens qui sont installés sur les 2 rives du fleuve depuis environ 3 000 ans avant aujourd'hui (Harris et Dechêne, 1987). Afin de mieux connaître ce nouveau territoire et de mieux saisir les mœurs amérindiennes, Cartier décide d'hiverner à une demi-lieue du village iroquoien de Stadaconé (ou Québec: Société littéraire et historique de Québec, 1843; Lahaise et Couturier, 1977). Les premières observations du territoire, bien qu'approximatives, traduisent avant tout un intérêt économique et commercial de la part de Cartier qui en répertorie minutieusement toutes les richesses. Il dresse un inventaire géographique systématique donnant, par exemple, la profondeur des fonds marins, la force des vents et des marées et décrivant les caractéristiques des terres (Jacob, 1984; 2000). Cartier confond souvent les espèces végétales indigènes et les espèces européennes avec lesquelles il est familier (Dickenson, 2008). Il décrit des paysages qu'il juge d'une grande beauté et insiste sur la qualité et la fertilité de la terre (Lahaise et Couturier, 1977). À ses yeux, les arbres sont majestueux et semblables à ceux que l'on peut trouver en France comme les noyers (*Juglans* sp.), les chênes (*Quercus* sp.) et les ormes (*Ulmus* sp.).

Les explorations de Cartier de 1535-1536 se répartissent sur les 2 rives du Saint-Laurent et elles montrent sa navigabilité sur environ 700 km. Cartier rapporte la présence de moult plantes à fruits comestibles qui sont parfois abondants (Lahaise et Couturier, 1977; Jacob, 1984). Il prend note des nombreuses plantes utilisées par les Amérindiens et découvre notamment une plante qui le stupéfait, le tabac (*Nicotiana tabacum*). Il relève aussi la qualité du chanvre (*Cannabis sativa*) qui ne demande ni semence ni labourage (Jacob, 1984).

Au terme de ce séjour en Nouvelle-France, en 1536, la confluence de la rivière Cap-Rouge et du fleuve Saint-Laurent s'impose comme le lieu idéal pour fonder la colonie. Une grande quantité d'arbres entourent le site: cèdre (*Thuja occidentalis*), chênes chargés de glands, beaux érables (*Acer* sp.), bouleaux, terre couverte de vignes sauvages (*Vitis riparia*) chargées de raisins noirs, aubépines (*Crataegus* sp.), abondance de chanvre qui croît naturellement (Société littéraire et historique de Québec, 1843). Cartier y fait semer toutes sortes de graines apportées de France: chou (*Brassica* sp.), navet (*Brassica* sp.) et laitue (*Lactuca* sp.). Des grains de maïs (*Zea mays*), plante d'origine indigène, de même que des macrorestes de plantes importées d'Europe comme le froment (*Triticum aestivum*), la lentille (*Lens culinaris*), la moutarde (*Brassica* sp.), l'olive (*Olea europaea*), l'orge (*Hordeum* sp.), le pois (*Pisum* sp.); la prune et le raisin ont aussi été trouvés sur le site de ce premier établissement en Nouvelle-France (Bouchard-Perron et Bain, 2009). La présence de grains de maïs ne signifie pas forcément que les Amérindiens pratiquaient cette culture dans la région de Québec, car la présence de cette denrée alimentaire a pu résulter d'échanges extralocaux entre les nations amérindiennes (Auger, 2008).

À l'occasion de cette expédition, Cartier espère découvrir l'origine du scorbut qui fit plus de 50 morts en février 1536. Grâce à un remède amérindien issu d'une décoction faite d'écorce et de jus de feuilles de l'annedda, les malades peuvent guérir en quelques jours. Pour souligner cette trouvaille, un arbre de vie aurait été offert en 1536 à François I<sup>er</sup> à l'issue de ce voyage, puis transplanté dans les jardins du roi à Fontainebleau (Litalien, 1993; Dickenson, 2008; Mathieu, 2009). Toutefois, la véritable identification de l'annedda prête encore aujourd'hui à confusion. Dans l'ouvrage de Marchand (1880) qui relate le voyage de Pehr Kalm en Nouvelle-France, une allusion est faite au thuya occidental correspondant à l'arbre de vie. Marie-Victorin (1935) mentionne que cet arbre est très utilisé dans la médecine populaire et la pratique amérindienne. Puis, Rousseau (1956) soutient aussi qu'il s'agit de la même espèce. D'autres plaident plutôt en faveur du sapin baumier, de la pruche (*Tsuga canadensis*), de l'épinette (*Picea* sp.) ou même du pin blanc (*Pinus strobus*) (Boucher, 1664; Société littéraire et historique de Québec, 1843). Plus récemment, Mathieu (2009) est d'avis qu'il s'agit du sapin baumier, à cause de ses propriétés antiscorbutiques, antiseptiques et sa forte teneur en vitamine C.

### Samuel de Champlain (~1570-1635)

La fin des guerres de religion en Europe, qui ont tenu la France éloignée des conquêtes en Amérique du Nord, marque une reprise des explorations. Lorsque Samuel de Champlain, sous l'autorité de Pierre Dugua de Mons, lieutenant général de la Nouvelle-France, a la volonté d'établir une colonie à Québec en 1608, il déclare à Henri IV, qui était favorable à la colonisation française et dont il était très proche : « il y a des forêts à perte de vue, des terres fertiles et des fourrures en abondance... il appartient au roi de se procurer ces terres pour Dieu et la France ». Champlain décrit des étendues de terres, de forêts et de cours d'eau : « quel royaume peut se permettre de laisser dormir un tel trésor ou de le céder à la convoitise de l'ennemi ». Dans l'espoir de rejoindre les Indes et la Chine, il est d'avis que le fleuve Saint-Laurent, la rivière Saguenay ou le lac Huron vont l'y mener (Binot, 2004; Hackett Fisher, 2011). Après avoir examiné les rivages entre Tadoussac et l'île d'Orléans, il décrète que cette terre est « montueuse et fort mauvaise, où il n'y a que des pins, sapins et bouleaux, et des rochers très mauvais » (Hackett Fisher, 2011). Il choisit de s'implanter à Québec, dont il juge le lieu commode et bien situé; en contrebas du promontoire de Québec se trouve une terrasse qui est idéale pour y construire un poste de traite (Hackett Fisher, 2011). Le cap est couvert de noyers qui rappellent à Champlain les noyers de France et il déclare que « ce lieu est le commencement du beau et bon pays de la grande rivière ».

Afin d'établir la colonie, l'une des tâches consiste à défricher la terre pour la construction de 3 corps de logis reliés entre eux (Thierry, 2001). Les abords de l'habitation sont aussi défrichés afin de cultiver des jardins, à la fois utiles et ornementaux, symboles de la souveraineté française, garnis d'herbes potagères et où l'on plante des vignes et sèment les graines de nombreuses espèces de céréales : blé (*Triticum*), maïs ou blé d'Inde, froment, seigle (*Secale* sp.) et orge (Champlain, 1613).

En plus d'être un grand voyageur et un excellent navigateur, Champlain est aussi naturaliste et géographe. Il s'attarde à décrire le climat, les ressources naturelles et les animaux des lieux qu'il visite, tout comme il l'avait fait lors de ses voyages aux Indes occidentales et au Mexique (Hackett Fisher, 2011). Afin de suivre l'évolution de ses plantations, il tient un calendrier botanique des événements printaniers et note les dates les plus propices au travail des champs ainsi que le potentiel d'acclimatation des semences importées de la métropole (Litalien, 2004). Champlain porte un grand intérêt aux plantes indigènes et dresse une liste des espèces les plus intéressantes : noyers, cerisiers (*Prunus* sp.), pruniers, vignes, framboises (*Rubus* sp.), fraises (*Fragaria* sp.), groseilles (*Ribes* sp.), bleuets (*Vaccinium* sp.). Il découvre les connaissances botaniques et la maîtrise de l'environnement qu'avaient les Amérindiens (Hackett Fisher, 2011). Il observe notamment leurs techniques de pêche à l'anguille (*Anguilla rostrata*) dans la rivière Saint-Charles et de chasse au gibier au printemps. Champlain note que les Amérindiens souffrent parfois d'un manque de nourriture et il entend leur enseigner à cultiver la terre (Champlain, 1613; Thierry, 2001). Il constate que le sol, même à l'état brut, se montre productif, la terre est fertile et bonne pour le labourage. D'une manière générale, Champlain (1613; 1632) juge le territoire beau et plaisant et il souligne la fertilité des sols ainsi que la multitude d'espèces d'arbres portant une grande quantité de fruits.

Champlain décide d'agrandir le domaine agricole de Québec et planifie la mise en culture de l'île d'Orléans et du Cap Tourmente, où les prairies naturelles sont propices à la récolte du foin nécessaire au bétail. La côte de Beaupré, en raison de vastes étendues d'eau limitant les incursions amérindiennes, grâce à la fertilité des sols et de la végétation vigoureuse et précoce, est jugée favorable à l'établissement, dès 1626, d'exploitations agricoles comme celle de la petite ferme du Cap Tourmente (Guimont, 1996). De nombreuses cartes anciennes semblent témoigner de la mise en culture des terres et représentent des champs rectilignes et des potagers (Anonyme, 1670; De Villeneuve, 1685; Anonyme, 1690; Beaurain, 1759; Faden, 1776).

Sur les terres défrichées des environs de Québec, sont menées des expérimentations en vue de la culture, notamment celle du blé (Lescarbot, 1609; Légaré, 2003). Afin de combler les déficits alimentaires au sein de la colonie, Champlain souhaite trouver des plantes nourricières en abondance, grâce aux arbres et aux arbustes fruitiers (Mathieu, 1998; Légaré, 2003; Archives Canada-France, 2005). Il entretient l'espoir de découvrir un produit d'exportation qui fera la richesse de la colonie. Il rapporte en France plusieurs échantillons de bois : le chêne dont le bois est d'excellente qualité pour la fabrication de fenêtres et lambris, le pin blanc pour la fabrication de mâts de navire et autres conifères en vue de la production de goudron, de résine et de potasse (Hackett Fisher, 2011).

## **Intérêt porté à l'environnement de la Nouvelle-France par quelques naturalistes européens**

**Louis Hébert**

Les premières investigations botaniques ont débuté grâce à l'installation, en 1617, de la première famille française à Québec, sur le cap-aux-Diamants. Convaincu par Champlain de vivre de la culture de la terre, la famille de Louis Hébert bénéficie d'un contrat de la compagnie de traite et d'une concession foncière de grande superficie (Hackett Fisher, 2011). Apothicaire d'origine parisienne, Louis Hébert est un visionnaire qui croit, tout comme Champlain, en l'avenir glorieux de la Nouvelle-France. Il veut cultiver ses terres et percer les mystères d'un sol soumis aux pires hivers, mais capable de donner des arbres forts et des fruits sauvages à profusion. Il s'émerveille « de la beauté et de l'étendue du fleuve, des forêts et des montagnes, du ciel sans limites et des espaces immenses ». Il se passionne pour la nature, non seulement pour la nourriture qu'elle peut procurer, mais aussi pour les vertus médicinales des plantes sauvages (Légaré, 2004). Les terres labourées autour de la ferme des Hébert ont permis de subvenir à leurs propres besoins et à ceux d'autres habitants de la colonie. Les terres ensemencées fournissaient toutes sortes de plantes potagères : chou rave (*Brassica oleracea*), laitue, pourpier (*Portulaca oleracea*), oseille (*Rumex* sp.), persil (*Petroselinum* sp.), citrouille (*Cucurbita maxima*), concombre (*Cucumis sativa*), melon (*Cucumis melo*), pois, fève (*Vicia* sp.) et autres légumes.

Avant son installation à Québec, Hébert avait accompagné Champlain dans ses voyages d'exploration et avait participé à la fondation du premier établissement en Acadie (Port-Royal 1597-1602). Aussi, au contact des Amérindiens en Acadie, il apprit à identifier un certain nombre de plantes et à connaître leur utilité, à faire tremper certaines graines avant de les semer afin de favoriser leur germination, à associer les cultures entre elles (maïs, fève, courge (*Cucurbita* sp.) et à entailler l'écorce des érables au printemps. Il procède aussi à quelques essais de plantations qui se sont avérés infructueux comme celles du citron (*Citrus* sp.) et de l'orange (*Citrus* sp.). À Québec, Louis Hébert identifie une quarantaine de variétés de plantes, dont le cerfeuil (*Anthriscus* sp.), la valériane (*Valeriana* sp.), l'ortie (*Urtica dioica*), le rosier (*Rosa* sp.) et le lierre (*Hedera* sp.). Par l'entremise de Champlain, Hébert envoie, surtout entre 1621 et 1627, un certain nombre de spécimens à Jean et Vespasien Robin, au Jardin des plantes de la Faculté de médecine à Paris, dont il devient le correspondant privilégié (Légaré, 2004). Grâce à une description précise du milieu de prélèvement et de la morphologie de chaque spécimen, toutes les plantes pourront être soumises à la rigueur des classifications botaniques binomiales. Toutefois, l'intérêt de la communauté scientifique française et européenne pour la flore exotique est encore limité (Dickenson, 2008) et les recherches en la matière portent essentiellement sur les plantes médicinales (Mathieu, 1998). Ainsi, les plantes et les arbres, dont le supposé annedda rapporté par Jacques Cartier en France ainsi que le pin blanc, sont tombés dans l'oubli après avoir été cultivés dans le parterre du roi à Fontainebleau, vers 1545 (Boucher, 1664; CNRS, 1956; Mathieu, 1998).

Louis Hébert souhaite exploiter ces paysages en cultivant le blé, le seigle, le froment et le chanvre, tantôt sur un sol fertile, à texture fine et poudreuse, tantôt sur un sol rocailleux, dont il connaît bien les propriétés respectives. Enfin, son intérêt pour les nouvelles plantes suscite la curiosité des Amérindiens qui le surnomment « le ramasseur d'herbes » (Légaré, 2004). Avec l'intérêt grandissant de Louis Hébert pour la culture vivrière, les premiers résultats scientifiques naissent des comparaisons entre les espèces et en ce qui a trait à la taille des épis de maïs, aux différences de morphologie, aux phases de développement, de floraison et de fructification, à la profondeur d'enracinement, ainsi qu'aux réactions des plantes de ce nouveau territoire au climat, en comparaison à celles de la France.

### **Jacques-Philippe Cornuty**

Dans l'esprit de la Renaissance et de la découverte du Nouveau-Monde, les scientifiques commencent à délaisser leurs cabinets d'étude et procèdent de plus en plus à des études sur le terrain. Entre 1601 et 1636, plusieurs catalogues de flore contenant des espèces nord-américaines voient le jour (CNRS, 1956). Jacques-Philippe Cornuty profite de cette effervescence et de l'attrait scientifique pour la nature. Mettant à profit les nombreux spécimens accumulés dans le Jardin des plantes à Paris, il publie le premier ouvrage sur les plantes nord-américaines en 1635 : *Canadensium plantarum historia* (Mathieu, 1998). Cet ouvrage constitue un premier pas dans la connaissance et la vulgarisation de la flore des territoires fraîchement découverts. Au moins 43 de la centaine de plantes décrites dans cet ouvrage font partie d'une flore strictement canadienne (Rousseau, 1956). N'ayant jamais foulé le sol canadien, ce savant décrit les espèces végétales à l'aide des spécimens rapportés par Cartier, puis de ceux expédiés plus abondamment par Champlain et Hébert au Jardin des plantes à Paris (Mathieu, 1998). Ce recueil des plantes nord-américaines réunit les inventaires des plantes indigènes, des descriptions de leurs propriétés et de leur usage médicinal ou social (ornementation, senteur). Nous trouvons dans son ouvrage au moins une dizaine de plantes de la région de Québec, principalement des plantes herbacées des champs, de sous-bois ou de lisière de forêts, mais une seule référence aux arbres et aux arbustes. Les descriptions, très méticuleuses, portent sur des espèces qui n'avaient jamais été décrites auparavant (Mathieu, 1998). Afin de faciliter la découverte de nouveaux spécimens, Cornuty décrit les milieux où s'établissent les plantes et introduit, de ce fait, une notion qui ne sera connue que plusieurs siècles plus tard, l'écologie.

### **Pierre Boucher**

Arrivé très jeune en Nouvelle-France, Pierre Boucher profite de 30 années passées en territoire canadien pour publier, en 1664, un ouvrage intitulé *Histoire véritable et naturelle*. Il s'agit d'un ouvrage d'ethnobotanique, rédigé dans un langage simple et accessible à tous. Alors gouverneur de Trois-Rivières, Boucher consacre l'essentiel de son ouvrage aux plantes forestières, à leurs caractéristiques et à leurs usages. Il rapporte

la présence de 34 nouvelles espèces végétales, incluant un certain nombre d'arbres. Comme la Nouvelle-France attire peu les colons, il tente de rendre très positives ses observations du territoire.

Boucher (1664) décrit les espèces locales cultivées par les Amérindiens (mil, haricot, citrouille, tournesol) avant l'arrivée des Européens. Certaines espèces y sont mentionnées pour la première fois et reconnaissables encore aujourd'hui grâce à leur nom vernaculaire ou à leurs propriétés. La description que Boucher fait des arbres et de leur utilité est très précise : pin (arbre le plus utile, planche, mât de navire, confection de canot, guérit les plaies selon les Amérindiens, espèce qui pousse dans les milieux secs), cèdre (bois tendre et imputrescible, feuillage plat, poutres des caves, clôtures des jardins, palissades, dont le charbon sert dans la composition de la poudre et des artifices, gomme pouvant servir d'encens une fois brûlée), sapin (gomme liquide et aromatique qui, en baume, guérit les plaies, espèce qui pousse dans les milieux humides), épinette (mâts de chaloupe et barques), épinette rouge ou mélèze (*Larix laricina*) (bois ferme et lourd, apte à la construction, se dépouille de ses feuilles en hiver), pruche (gros arbre à écorce rouge quasiment imputrescible, construction, espèce qui pousse dans les milieux secs ou humides), érable (combustible, si entaillé au printemps, il fournit une eau sucrée agréable à boire), hêtre (*Fagus grandifolia*) (combustible), merisier ou bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) (mobilière, armement), chêne (construction de bateaux, menuiserie, charpente), etc. Selon Boucher (1664), les troncs des pins, des ormes et des chênes que l'on trouve en Nouvelle-France sont suffisamment hauts pour en faire des mâts de navire.

Boucher signale également la présence de plusieurs plantes à fruits qu'il inventorie et dessine minutieusement : petits merisiers (*Prunus pensylvanica*), framboisiers et fraisiers ainsi que groseilliers et gadelliers qui produisent des baies rouges. Quant aux bleuets, ils sont excellents au goût et poussent en grande quantité. Il tente aussi des expériences sur la vigne sauvage et le vin que l'on peut en obtenir. Les raisins sont plus petits que ceux de France, leur goût est âcre et ils fournissent un vin qui tache beaucoup.

**Autres botanistes : Michel Sarrazin,  
Pierre-François-Xavier de Charlevoix,  
Jean-François Gaultier et Pehr Kalm**

Entre 1685 et 1744, plusieurs botanistes visiteront Québec ou s'y installeront un temps, certains détenant le double titre de médecin du roi et de naturaliste comme Michel Sarrazin (1659-1734) et Jean-François Gaultier (1708-1756). Ils deviennent aussi des correspondants de l'Académie royale des sciences et du Jardin royal qui, successivement, fut sous l'autorité de Joseph Pitton de Tournefort, de Sébastien Vaillant et d'Henri-Louis Duhamel du Monceau (CNRS, 1956).

En 1697, après une rencontre avec Tournefort, l'intérêt de Michel Sarrazin pour la botanique et l'histoire naturelle s'accroît de façon manifeste (Rousseau, 1956). Il confectionne un herbier de plantes prélevées dans les environs de Québec

et de Montréal et fait acheminer chaque année ses notes et ses observations. Le manuscrit de Michel Sarrazin et Sébastien Vaillant intitulé *Histoire des plantes du Canada* et publié en 1708 est en réalité un catalogue des plantes (Boivin, 1978; Parsons, 2011).

Comme il avait déjà effectué des séjours en Nouvelle-France, le père jésuite Pierre-François-Xavier de Charlevoix se fit confier, en 1720, le mandat d'enquêter sur le passage vers la mer de l'Ouest, auprès des explorateurs, des missionnaires et des populations autochtones (Dictionnaire biographique du Canada, 2000). Le fruit de ses observations lors de ses voyages dans la vallée du Saint-Laurent et la région des Grands Lacs fut publié à Paris dans un ouvrage intitulé *Histoire et description générale de la Nouvelle-France, avec le Journal historique d'un voyage fait par ordre du roi dans l'Amérique Septentrionale* (1744) retranscrit en 6 volumes, sous la forme de 36 lettres adressées à la duchesse de Lesdiguières. Dans la lettre 3, il fit une description de Québec car, d'après lui, les descriptions antérieures de cette ville étaient toutes « défectueuses » (Berthiaume, 1994). L'ouvrage présente la description des plantes les plus communes du pays.

Vers 1741, Jean-François Gaultier, alors médecin du roi installé à Québec, participe à l'envoi régulier en France de spécimens de plantes, d'échantillons de bois et de minéraux, et sa correspondance alimente les connaissances des botanistes en France. Il élabore un imposant catalogue utilitaire des plantes, incluant certains produits de transformation comme le sirop d'érable et le baume du sapin. Aidé du gouverneur de la Nouvelle-France, de la Galissonnière, lui-même féru d'histoire naturelle, il adresse une note aux commandants des postes de l'intérieur les appelant à servir de naturalistes amateurs afin d'enrichir les connaissances du milieu naturel. À titre de correspondant officiel de Duhamel du Monceau au Palais royal de Paris, Gaultier porte une attention toute particulière aux arbres et aux arbustes (Wien, 1999). Cet engouement pour la botanique découle, entre autres, de la volonté du roi Louis XIV, puis du roi Louis XV, d'introduire des plantes exotiques dans leurs parcs qui deviennent alors de véritables jardins botaniques (CNRS, 1956).

En 1749, le Suédois Pehr Kalm, élève favori de Carl von Linné, vient en Nouvelle-France afin de décrire la flore et la végétation le long du fleuve Saint-Laurent et toutes ses observations sont consignées dans un journal très détaillé (Marchand, 1880; Rousseau et Béthune, 1977; Parsons, 2011). D'une durée de 3 mois, son voyage a pour but de récolter, pour le compte de Linné, des plantes cultivées ainsi que des plantes qui auraient des propriétés médicinales, et de rapporter en Suède des plantes nourricières qui pourraient se développer sous un climat semblable à celui de Québec. Le 5 août 1749, Kalm débarque à Québec où il dresse un inventaire de la végétation des prés, des forêts et des villes (Marchand, 1880; Rousseau et Béthune, 1977). Il décrit les espaces en culture (blé, avoine [*Avena* sp.], maïs, pois, citrouilles, melons). Tout comme certains de ses prédécesseurs, Kalm mentionne la présence de nombreuses plantes potagères. Il décrit aussi quelques plantes

que les Français utilisent comme marchandises (ginseng [*Panax* sp.] et adiantum ou capillaire du Canada [*Adiantum pedatum*]) et dont ils font un commerce lucratif. En compagnie de Gaultier, Kalm circule dans la région et décrit la flore de certains milieux humides (thuya et plantes herbacées) ou forestiers (viorne [*Viburnum* sp.], thé des bois [*Gaultheria procumbens*], épinette, pin blanc, pin rouge [*Pinus resinosa*] et pin gris, mélèze, chêne, érable, if du Canada [*Taxus canadensis*]). Il rapporte que les abords de Québec sont presque partout mis en culture et que les colons laissent les terres en jachère 1 année sur 2. Il quitte le pays en septembre 1749, rapportant plus de 200 spécimens de plantes (CNRS, 1956).

### **Appropriation du territoire et de ses ressources naturelles**

#### **Éloge des ressources naturelles selon un objectif économique**

D'après Marie-Victorin (1935), les explorateurs de la Nouvelle-France, bien que souvent instruits, n'étaient ni hommes de sciences ni hommes de lettres, mais plutôt des aventuriers, des missionnaires ou des soldats. Par la suite, ce sont des naturalistes et des botanistes qui débarquent en Nouvelle-France pour y trouver une nature qui leur était inconnue. Avec des connaissances rudimentaires de la botanique et en présence d'une nature sauvage différente de celle de leur pays d'origine, ces pionniers élaborent une nomenclature populaire et une classification pratique des plantes utiles et des plantes nuisibles destinée aux habitants et aux bûcherons. Ce que Marie-Victorin (1935) désigne sous l'expression de « folklore botanique canadien-français » regroupe des noms vernaculaires usités en France et transposés aux espèces de la Nouvelle-France (p. ex. : quenouille [*Typha latifolia*], tremble, plaine [*Acer* sp.]).

Les colons donnent parfois des appellations colorées, voire poétiques : quatre-temps (*Cornus canadensis*), bleuets, herbe à la puce (ou sumac *Rhus radicans*), épinette, bois d'original (*Acer pensylvanicum* ou *Viburnum alnifolium*), thé des bois. Ils savent reconnaître les principales espèces de feuillus, proches parentes de celles de France (tilleul, hêtre, charme [*Carpinus* sp.]). Les conifères sont différents de ceux qu'ils connaissent, tant par leur feuillage que par la forme de leurs cônes. Ces colons venant pour la plupart des régions atlantiques françaises et non alpines, certaines espèces comme la pruche, le mélèze et l'épinette leur sont totalement inconnues. Doués d'une étonnante qualité d'observateurs, ces pionniers classent les espèces en fonction de leur utilité, ces dernières se distinguant à la couleur de leur bois, de leur dureté, de leur apparence et de leur morphologie. Les noms de nombreuses espèces sont francisés et désignés suivant ces critères : cèdre blanc, pin blanc, pin rouge, pin gris, épinette blanche (*Picea glauca*), épinette noire (*Picea mariana*), bouleau rouge (*Betula populifolia*), bouleau blanc (*Betula papyrifera*), chêne rouge (*Quercus rubra*), orme blanc (*Ulmus americana*), etc. Ces emprunts à la nomenclature française font en sorte que, par exemple, cèdre blanc est utilisé de préférence à thuya, encore de nos jours.

Il convient de noter que certaines descriptions générales des paysages et de la végétation sont souvent faites à partir des embarcations qui sillonnent les cours d'eau, les explorateurs n'accostant pas toujours pour faire leurs observations du continent (Coates, 2003). Ces descriptions, parfois exagérées, mettent l'accent sur les arbres à valeur économique, les animaux à fourrure et le gibier (Parent, 2001). Au cours du XVII<sup>e</sup> siècle, l'intérêt des colons étant de s'installer rapidement et de cultiver la terre, la colonie développe une agriculture à l'européenne, surtout à partir des terres humides (Moussette, 2008). Hormis les techniques de brûlis apprises des Amérindiens, les premiers habitants n'ont presque pas tenu compte des pratiques horticoles des populations locales.

### **Modifications de l'environnement naturel**

Dans la région de Québec, les sols et le climat sont favorables à l'établissement de l'érablière à tilleul (dite laurentienne) dans les sites mésiques, bien drainés et à texture moyenne (Grandtner, 1956; Ordre des ingénieurs forestiers de Québec, 2009). Cette formation végétale s'est développée vers 7000 ans avant aujourd'hui à l'île d'Orléans (Richard, 1971) et depuis au moins 4540 ans dans la partie ouest de la ville de Québec (Filion et collab., 2009). Certaines cartes anciennes montrent le caractère boisé de Québec (Champlain, 1613; Anonyme, 1690; Holland, 1762), en particulier, les cartes de De Villeneuve (1685; 1688) sur lesquelles des appellations très précises d'associations végétales sont indiquées. Par exemple, nous pouvons lire sur la carte dressée par De Villeneuve (1688), dans le secteur de la Basse-Ville situé à proximité de la rivière Saint-Charles, « sapinière marécageuse » et « marais ». Des reconstitutions paléoenvironnementales ont permis de faire ressortir l'existence d'une mosaïque de communautés végétales dans le cours inférieur de cette rivière au moment de l'arrivée des premiers Européens à Québec. Une telle diversité aurait été influencée par la topographie en crêtes et dépressions ainsi que par la proximité de la rivière Saint-Charles (Garneau, 1997; Querrec et collab., 2013).

Larouche (1979) et plus récemment Lavoie et collab. (2010) ont étudié le développement d'une tourbière dans le secteur ouest de la ville de Québec où l'entourbement a débuté vers 5540 ans avant aujourd'hui. Une baisse subite et marquée des concentrations polliniques près de la surface de la tourbière et une augmentation de la représentation des espèces herbacées et rudérales (graminées) concordent avec l'arrivée des premiers Européens il y a 400 ans. La déforestation de la région par les Européens aurait notamment entraîné une diminution marquée de l'érable à sucre, du hêtre à grandes feuilles, du pin blanc, de la pruche et de l'orme.

L'établissement des colons au XVIII<sup>e</sup> siècle et la déforestation des terres en bordure du Saint-Laurent ont entraîné l'introduction et l'implantation de plusieurs espèces végétales européennes (Baillargeon, 1981). La déforestation fut systématique, car le bois était indispensable à l'établissement des nouveaux arrivants (construction des habitations et des dépendances, clôtures, palissades, chauffage, etc.). Le pin

blanc, le chêne et l'orme ont été abondamment utilisés dans la construction de navires et de bâtiments (Delâge, 1985). En outre, il semble que les paysans, plutôt que de conserver un paysage forestier, préféraient abattre les arbres afin de réduire la quantité de moustiques (Coates, 2003). Les observateurs attestent en effet du peu d'arbres aux alentours des maisons et des villages de la Nouvelle-France.

En agriculture et en horticulture, les espèces venant d'Europe ou transitant sur le continent via l'Amérique du Sud, s'implantent un peu partout : pomme de terre (*Solanum tuberosum*), blé, froment, seigle, orge, sarrasin (*Polygonum fagopyrum*), lin (*Linum usitatissimum*), avoine, pois, fèves, navets, melon, laitue, radis noir (*Raphanus* sp.), betterave, concombres et herbes du jardin comme la citronnelle, le persil, le thym, la marjolaine (Rousseau et Béthune, 1977 ; Boivin, 1978 ; Mathieu, 1998 ; Coates, 2003). Les paysans utilisent peu les espèces végétales locales ; ils laissent aux Amérindiens le soin de les cultiver, si ce n'est le maïs (blé d'Inde) et quelques légumes comme la courge et le haricot. Progressivement, avec l'intensification des activités agricoles, plusieurs espèces indigènes sont remplacées par des espèces introduites.

L'établissement de la colonie française provoque à Québec des modifications du paysage végétal qui résultent de l'accroissement de la population et d'une intensification des échanges commerciaux entre l'ancien continent et le Nouveau monde. Hormis les récits et les descriptions des explorateurs et des botanistes venus explorer la Nouvelle-France au cours des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles (Boucher, 1664 ; Boivin, 1978 ; Mathieu, 1998), nous disposons de peu de données scientifiques quant à l'impact humain sur le couvert végétal depuis l'implantation européenne dans la région de Québec.

Le site de l'îlot des Palais dans le secteur de la Basse-Ville de Québec est un site de fouilles archéologiques depuis 1982 qui témoigne de plusieurs activités au tout début de la colonie, depuis le milieu du XVII<sup>e</sup> siècle (Moussette, 1994 ; Auger et collab., 2009 ; Bain et collab., 2009 ; Simoneau, 2009). Les études archéologiques ont permis de renforcer les connaissances de l'histoire naturelle à partir de la paléoécologie (Querrec et collab., 2013), de l'archéobotanique (Fortin, 1989 ; Bouchard-Perron, 2010) et de l'archéontomologie (Muller, 2010). Les données sédimentologiques montrent que le site était initialement un environnement humide, régulièrement inondé où se sont déposés des sédiments fins, ce qui montre que l'embouchure de la rivière Saint-Charles était bordée d'une plaine inondable à faible énergie (Querrec et collab., 2013). L'abaissement graduel du niveau de la rivière au cours de l'Holocène supérieur, soit après la transgression Mitis vers 2000 ans avant aujourd'hui, a laissé une topographie en cordons et terrasses relativement étroites alternant avec des dépressions qui a permis la mise en place d'une mosaïque de communautés végétales. Cette mosaïque était formée de peuplements forestiers sur les terrasses surélevées où le thuya était abondant et de groupements de plantes herbacées dans les dépressions humides, des marais analogues aux marais fluviaux actuels.

En 2005, les fouilles archéologiques ont permis de mettre au jour les restes d'une palissade formée de pieux de thuya occidental très bien conservés. Les données macrofossiles, en provenance de l'îlot des Palais et du site de la Grande-Place situé un peu plus à l'ouest, ont aussi montré que cet arbre était présent en bordure de la rivière Saint-Charles à l'arrivée des premiers Européens (Garneau, 1997 ; Querrec et collab., 2009).

En 1685, puis en 1692, les cartes de De Villeneuve montrent des boisés de type coniférien dans la Basse-Ville qui était couverte d'épinettes et de sapins baumiers. La carte de 1685 fait état du faible développement urbain caractérisé par seulement 3 axes de communication : un chemin de grève longeant la rivière Saint-Charles qui n'était praticable qu'à marée basse ainsi que 2 chemins reliant la Basse-Ville et la Haute-Ville, l'un passant par la Côte du Palais et l'autre menant au futur Faubourg Saint-Roch (Benoît et collab., 1988). En 1706, un sentier menant au couvent des Récollets est aménagé en bordure de la rivière Saint-Charles, devenu plus tard la rue Saint-Vallier. Cette rue conserve encore aujourd'hui son tracé sinueux, attribuable aux nombreux marais qui bordaient la rivière Saint-Charles et ses tributaires (Ouellet, 2005), un tracé représenté sur de nombreuses cartes anciennes (De Villeneuve, 1685 ; Beaujours, 1712 ; Day et Fils, 1759).

À ce jour, seule l'étude de Baillargeon (1981) a fait état du couvert végétal ancien et de sa répartition ; cette étude repose sur l'inventaire exhaustif de la flore dans différents types de milieux, de l'examen attentif des spécimens d'herbier et l'analyse de la littérature ancienne. À l'arrivée des Européens, la colline de Québec présentait un paysage végétal surtout composé de forêts de thuyas, de pins, de chênes et de frênes (Charlevoix, 1744), au sein du domaine de l'érablière à tilleul. Baillargeon (1981) a estimé à 645 le nombre d'espèces indigènes à l'arrivée des premiers colons et botanistes européens au XVII<sup>e</sup> siècle. De ces 645 espèces, 155 (24 %) étaient disparues vers 1980 et en revanche, 503 espèces avaient été introduites.

L'urbanisation a fragmenté les grandes étendues de forêts qui se trouvaient sur la colline de Québec et aux alentours. Elle a créé de nouveaux types de milieux, de sorte que de nos jours, la flore de la région compterait environ 1 150 espèces (Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 2009), soit presque le double du nombre d'espèces estimé par Baillargeon (1981) il y a plus de 30 ans.

### **Conséquences de l'exploitation de la forêt dans la vallée du Saint-Laurent**

Les colons s'installèrent et défrichèrent massivement les basses-terres du Saint-Laurent afin de cultiver et de permettre le déploiement de l'établissement humain sur ce nouveau territoire qu'ils considéraient vierge. Exerçant son rôle de ministre du roi, Colbert jugeait impératif que la colonie subvienne le plus rapidement possible à ses besoins alimentaires (Vachon, 2000), alors que Jean Talon, premier intendant de la colonie, était d'avis que le bois devait servir à la construction navale, à la production de potasse et à

l'exportation. L'activité navale, encouragée et soutenue par Talon près de l'embouchure de la rivière Saint-Charles, aura des conséquences sur l'environnement immédiat de l'îlot des Palais (Vachon, 2000).

Au fil des siècles, depuis la première visite de Cartier en 1534, les terres auparavant couvertes de forêts sont devenues des terres agricoles. Dans une étude sur le Haut-Saint-Laurent, au sud-ouest de Montréal, Simard et Bouchard (1996) ont utilisé les actes notariés portant sur les ventes de bois au cours du XIX<sup>e</sup> siècle afin de décrire les transformations de la forêt précoloniale. Cette étude montre qu'après moins d'un siècle d'exploitation forestière intensive (1800-1880), certains bois (chêne, thuya, pin et érable à sucre) étaient pratiquement épuisés dans le Haut-Saint-Laurent et qu'ils avaient été remplacés par des bois de moindre valeur (épinette, mélèze, pruche, orme et frêne). Après 2 siècles de déforestation, d'activités agricoles et d'exploitation forestière, les forêts de cette région agroforestière n'occupent plus que 15 % du territoire (Brisson et Bouchard, 2003 ; Brisson, 2006).

Dès leur arrivée sur le nouveau continent, les colons tentent de transposer l'idée qu'ils se font de l'environnement en s'appropriant le territoire à l'europpéenne. L'europpéanisation du paysage de la vallée du Saint-Laurent se traduit, d'une part, par la transformation des terres et des forêts situées en bordure du fleuve pour la mise en culture de champs bien ordonnés et, d'autre part, par l'instauration de relations marchandes (Légaré, 2003). Le régime seigneurial s'est développé le long de cet axe fluvial et l'objectif de Talon était de combler les secteurs boisés par une soixantaine de fiefs habités entre 1665 et 1667. À cette fin, de vastes campagnes de défrichage sont lancées afin de construire des habitations, mais surtout d'ensemencer les terres. Le nombre d'arpents cultivés dans la colonie est multiplié par 35 en un an (1667-1668), notamment avec la culture du blé et l'introduction de nouvelles cultures de chanvre, de lin et de houblon (*Humulus lupulus*) (Vachon, 2000). De manière générale, la volonté de colonisation concorde avec des objectifs d'homogénéisation et d'uniformisation du paysage. Ainsi est instauré dans la vallée du Saint-Laurent un système de propriété du sol de type seigneurial, hérité du Moyen-Âge.

## Conclusion

À leur arrivée en Nouvelle-France, les explorateurs considèrent qu'ils sont en présence d'une forêt primitive, idéalisée et vierge (Parent, 2001). C'est pourquoi les premiers colons identifient les utilisations qu'ils peuvent faire des ressources qui sont à leur disposition. Plusieurs naturalistes de l'époque sont d'avis que la nature n'a rien créé en vain, mais que toute chose a sa place et sa finalité. C'est d'ailleurs ce que Cornuty, en 1635, appelle le « principe finaliste ». Les explorateurs, les seigneurs, les marchands et les habitants ont imposé leurs propres conceptions de la nature et ont opéré une transformation profonde du paysage par le biais de pratiques agricoles et de coupes forestières qui ont entraîné un recul de la végétation indigène (Coates, 2003).

Par notre analyse des récits de voyage et de diverses sources secondaires ayant exploité les documents anciens, nous avons tenté de dresser un état des connaissances de l'environnement à l'époque de la Nouvelle-France et de dégager la perception que se faisaient les Européens de ce nouveau territoire. Nous pensions initialement être en mesure de dégager une image précise du paysage et des écosystèmes en place et de retracer leur transformation mais, malgré l'abondance de documents historiques, nos sources ont révélé leurs limites. Nous avons pu constater que de nombreuses descriptions du paysage et des plantes dans les récits historiques sont essentiellement anecdotiques, livrant une information frugale.

Les premières tentatives de colonisation sont financées par la monarchie et les descriptions que font les premiers explorateurs tels que Cartier ou Champlain sont empreintes de l'esprit de la fin de la Renaissance, un moment marqué par un contrôle royal très serré de ce qui est dit. Ainsi, les témoignages glorifient les mérites de ce nouveau territoire, mais ils reflètent aussi leurs propres intentions politiques et visent à obtenir une réception favorable de ces voyages par la cour française. Comme le signale Delâge (1985), pendant la période initiale de la colonisation (XVII<sup>e</sup> siècle), le contenu des rapports d'exploration suggère que les Amérindiens reconnaissaient un certain ordre dans la nature alors qu'à l'inverse, les Européens considéraient qu'ils s'installent dans une nature sans ordre préétabli. L'hégémonie européenne passe aussi par l'établissement d'une pensée scientifique qui se développe à travers l'histoire naturelle et la botanique. Plusieurs collaborations scientifiques s'établissent de part et d'autre de l'Atlantique au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle, et grâce à ces échanges, les informations sur la végétation de la Nouvelle-France sont disponibles en France et propagées à l'ensemble de l'Europe. ◀

## Références

- ALLAIRE, B., 1999. Pelleteries, manchons et chapeaux de castor : les fourrures nord-américaines à Paris, 1500-1632. Presses de l'Université de Paris-Sorbonne, Paris, 304 p.
- ALLAIRE, B., 2013. La rumeur dorée : Roberval et l'Amérique. Éditions La Presse, Montréal, 159 p.
- ANONYME, 1670. La ville haute et basse de Québec en la Nouvelle France. Carte numérisée NMC 11088. Carthothèque de l'Université Laval, Québec.
- ANONYME, 1690. L'entrée de la rivière de Saint-Laurent et la ville de Québec dans le Canada. Carte numérisée NMC 5237. Carthothèque de l'Université Laval, Québec.
- ARCHIVES CANADA-FRANCE, 2005. Exposition dans Nouvelle-France, Horizons nouveaux, Histoire d'une terre française en Amérique, Bibliothèque et Archives Canada. Disponible en ligne à : <http://www.archivescanadafrance.org/francais/accueil.html>. [Visité le 05-06-15].
- AUGER, R. 2008. L'espace amérindien avant l'arrivée des Européens à Québec. Dans : VALLIÈRES, M., Y. DESLOGES, F. HARVEY, A. HÉROUX, et S.-L. LAMONTAGNE (édit.). Histoire de Québec et de sa région. Les Presses de l'Université Laval et les Éditions de l'IQRC, Québec, p. 57-100.
- AUGER, R., D. SIMONEAU et A. BAIN, 2009. Le site du Palais de l'Intendant : urbanisation de la basse ville de Québec. *Archéologiques*, 22 : 146-159.
- BAILLARGEON, G., 1981. Zonation et modification de la composition de la flore vasculaire dans une région urbaine : la colline de Québec. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 206 p.

- BAIN, A., J.-A. BOUCHARD-PERRON, R. AUGER et D. SIMONEAU, 2009. Insectes, graines et mauvaises herbes sur le site du Palais de l'Intendant : étude d'un paysage en évolution. *Archéologiques*, 22 : 172-189.
- BEAUCOURS, J.-M., 1712. Plan de Québec. Échelle 50 toises au pouce. Carte numérisée NMC 1735. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- BEAURAIN, L., 1759. Renvois de Québec dans le Canada. Carte numérisée NMC 98194. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- BENOÎT, J., D. LAROCHE et M. VALLIÈRES, 1988. L'Ancien chantier : un faubourg en pleine évolution (1670-1870), Étude de potentiel archéologique et historique. Ville de Québec, Service de l'Urbanisme, Division du Vieux-Québec et du Patrimoine, Québec, 127 p.
- BERTHET, T., 1992. Seigneurs et colons de Nouvelle-France. L'émergence d'une société distincte au XVIII<sup>e</sup> siècle. Éditions de l'E.N.S, Cachan, 275 p.
- BERTHIAUME, P., 1994. Journal d'un voyage fait par ordre du roi dans l'Amérique septentrionale (tome I), François-Xavier de Charlevoix. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 611 p.
- BHRY, N. et L. FILION, 2001. Analyse des macrorestes végétaux. Dans : PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec. p. 330-342.
- BIGGAR, H.P., 1924. The voyages of Jacques Cartier. Public Archives of Canada, Ottawa, 330 p.
- BINOT, G., 2004. Pierre DUGUA DE MONS : gentilhomme royannais, premier colonisateur du Canada, lieutenant général de la Nouvelle-France de 1603 à 1612. Éditions Bonne Anse, Vaux-sur-Mer, 267 p.
- BOIVIN, B., 1978. La flore du Canada en 1708 : étude d'un manuscrit de Michel Sarrazin et Sébastien Vaillant. *Provancheria*, 9, 74 p. (extrait de *Études Littéraires*, 10 : 223-297, 1977).
- BOUCHARD-PERRON, J.-A. 2010. De « Colons » à « Habitants », pratiques alimentaires et environnement sur le site du Palais de l'Intendant (CeEt-30). Rapport préliminaire, Laboratoire d'archéologie environnementale, Université Laval, Québec, 42 p.
- BOUCHARD-PERRON, J.-A. et A. BAIN, 2009. Du mythe vers la réalité : l'archéobotanique sur le site du fort d'en Haut Cartier-Roberval. *Archéologiques*, 22 : 71-89.
- BOUCHER, P., 1664. Histoire véritable et naturelle, Des mœurs et productions du pays de La Nouvelle-France, Vulgairement dite Le Canada. Florentin Lambert, Paris, 415 p.
- BRISSON, J., 2006. Un rare vestige du passé au cœur d'un territoire agricole : le Boisé-des-Muir. *Cap-aux-Diamants : la revue d'histoire du Québec*, 86 : 33-35.
- BRISSON, J. et A. BOUCHARD, 2003. In the past two centuries, human activities have caused major changes in the tree species composition of southern Québec, Canada. *Écoscience*, 10 : 236-246.
- CHAMPLAIN, S. de, 1613. Les voyages du Sieur de Champlain Xaintongois, capitaine ordinaire pour le Roy, en la marine : divisez en deux livres, ou, journal très-fidèle des observations faites ès des couvertures de la Nouvelle-France, tant en la description des terres, costes, rivières, ports, havres, leurs hauteurs, et plusieurs déclinaisons de guide-aymant. Édition Jean Berjon, Paris, 440 p.
- CHAMPLAIN, S. de, 1632. Les voyages de la Nouvelle France occidentale, dicte Canada : faits par le Sr. de Champlain Xaintongois, capitaine pour le Roy en la marine du Ponant, & toutes les découvertes qu'il a faites en ce pais depuis l'an 1603, jusques en l'an 1629, où se voit comme ce pays a esté premièrement découvert par les François sous l'autorité de nos Roys très-Chrestiens, jusques au règne de Sa Majesté à présent régnante Louis XIII, Roy de France & de Nauarre. Edition Louis Sevestre, Paris, 724 p.
- CHARLEVOIX, P.-F.-X. de, 1744. Description des plantes principales de l'Amérique septentrionale (tome 2). Dans : Charlevoix, Histoire et description générale de la Nouvelle-France, avec le Journal historique d'un voyage fait par ordre du Roi dans l'Amérique septentrionale, 3 volumes. Rolin et fils, Paris, 56 p.
- CNRS (Centre national de recherche scientifique), 1956. Les botanistes français en Amérique du Nord avant 1850. Colloques internationaux, Paris, 360 p.
- COATES, C.M., 2003. Les transformations du paysage et de la société au Québec sous le régime seigneurial. Éditions Septentrion, Québec, 255 p.
- DAY ET FILS, 1759. Plan of the town and basin of Quebec. Lithographie. Carte numérisée NMC 4910. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- DELÂGE, D., 1985. Le pays renversé, Amérindiens et Européens en Amérique du nord-est, 1600-1664. Boréal Express, Montréal, 416 p.
- DE VILLENEUVE, R., 1685. Carte des environs de Québec en la Nouvelle France mesurée sur le lieu très-exactement en 1685. Carte numérisée NMC 16235. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- DE VILLENEUVE, R., 1688. Carte des environs de Québec en la Nouvelle France mesurée sur le lieu très-exactement en 1688. Carte numérisée NMC 2708. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- DE VILLENEUVE, R., 1692. Plan de la Ville de Québec en la Nouvelle France où sont marqués les ouvrages faits et à faire pour la fortification. Carte numérisée NMC 1739. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- DICKENSON, V., 2008. Cartier, Champlain, and the fruits of the New World : Botanical exchange in the 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> centuries. *Scientia Canadensis*, 31 : 27-47.
- DICTIONNAIRE BIOGRAPHIQUE DU CANADA, 2000. Pierre-François-Xavier de Charlevoix. Disponible en ligne à : <http://www.biographi.ca/009004-119.01-f.php?Biold=35371>. [Visité le 12-02-10].
- FADEN, W., 1776. Plan of the City and environs of Quebec. Carte numérisée NMC 55019. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- FILION, L., M. LAVOIE et L. QUERREC, 2009. Les environnements naturels de la région de Québec durant l'Holocène. *Archéologiques*, 22 : 12-28.
- FISSET, R. et G. SAMSON, 2009. Charlesbourg-Royal et France-Roy (1541-1543) : le site de la première tentative de colonisation française en Amérique. *Archéologiques*, 22 : 30-53.
- FORTIN, C., 1989. Les macrorestes végétaux du site du premier palais de l'intendant à Québec (CeEt-30) CÉLAT, Québec, 82 p.
- GARNEAU, M., 1997. Paléoécologie d'un secteur riverain de la rivière Saint-Charles : analyse macrofossile du site archéologique de la Grande Place, à Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 51 : 211-220.
- GRANDTNER, M., 1956. La végétation du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 216 p.
- GUIMONT, J., 1996. La petite ferme du Cap Tourmente : un établissement agricole tricentenaire : de la ferme de Champlain aux grandes volées d'oies. Septentrion, Québec, 230 p.
- HACKETT FISHER, D., 2011. Le rêve de Champlain. Boréal, Montréal, 999 p.
- HARRIS, C. et L. DECHÊNE, 1987. Atlas historique du Canada. Volume 1 : Des origines à 1800. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 198 p.
- HAVARD, G. et C. VIDAL, 2008. Histoire de l'Amérique française. Flammarion, Paris, 863 p.
- HOLLAND, S.G., 1762. Plan n°J to explain the report of the state of defense of the fortification of Québec. Carte numérisée NMC 2345. Cartothèque de l'Université Laval, Québec.
- INGSTAD, H. et A.S. INGSTAD, 2001. The Viking discovery of America : The excavation of a Norse settlement in L'Anse Aux Meadows, Newfoundland. Checkmark Books, New York, 194 p.
- JACOB, Y., 1984. Jacques Cartier, de Saint-Malo au Saint-Laurent. Éditions maritimes et d'outre-mer, Paris, 231 p.
- JACOB, Y., 2000. Jacques Cartier. Éditions l'Ancre de Marine, Saint-Malo, 231 p.
- LAHAISE, R. et M. COUTURIER, 1977. Jacques Cartier. Voyages en Nouvelle-France. Cahier du Québec, 32/Hurtubise HMH, Montréal, Collection Documents d'histoire, Bibliothèque nationale du Québec, 158 p.
- LAROUCHE, A., 1979. Histoire postglaciaire comparée de la végétation à Sainte-Foy et au mont des Éboulements, Québec, par l'analyse macrofossile et l'analyse pollinique. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 117 p.



- LAVOIE, M., G. MAGNAN et J. COLPRON-TREMBLAY, 2010. Le couvert végétal de la région de Québec: une histoire plurimillénaire. *Le Naturaliste canadien*, 134 (1): 5-12.
- LÉGARÉ, F., 2003. Samuel de Champlain, père de la Nouvelle-France. XYZ éditeur, Montréal, 172 p.
- LÉGARÉ, F., 2004. Louis Hébert, premier colon en Nouvelle-France. XYZ éditeur, Montréal, 155 p.
- LESCARBOT, M., 1609. Histoire de la Nouvelle-France contenant les navigations, découvertes, et habitations faites par les François es Indes Occidentales et Nouvelle-France souz l'avoëu et authorité de noz Rois Très-Chrétiens, et les diverses fortunes d'iceux en l'exécution de ces choses, depuis cent ans jusques à hui: en quoy est comprise l'histoire morale, naturelle, et géographique de ladite province: avec les tables et figures d'icelle. Éditions Jean Millot, Paris, 877 p.
- LITALIEN, R., 1993. Les explorateurs de l'Amérique du Nord 1492-1795. Septentrion, Québec, 261 p.
- LITALIEN, R., 2004. Champlain: la naissance de l'Amérique française. Septentrion, Québec, 397 p.
- MARCHAND, L.W., 1880. Voyage dans l'Amérique du Nord par Pehr Kalm, naturaliste suédois. Mémoires de la Société historique de Montréal, Montréal, 258 p.
- MARIE-VICTORIN, Fr., 1935. Flore Laurentienne, 3<sup>e</sup> édition (2001). Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 1093 p.
- MATHIEU, J., 1998. Le premier livre de plantes du Canada, Les enfants des bois du Canada au jardin du roi à Paris en 1635. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 331 p.
- MATHIEU, J., 2009. L'Annedda. L'arbre de vie. Les éditions du Septentrion, Québec, 187 p.
- MOSS, W., 2009. Introduction: l'archéologie d'une ville en Amérique du Nord, les débuts de Québec. *Archéologiques*, 22: 1-11.
- MOUSSETTE, M., 1994. Le site du Palais de l'Intendant à Québec: genèse et structuration d'un lieu urbain. Édition du Septentrion, Sillery, 232 p.
- MOUSSETTE, M., 2008. La colonisation des milieux humides en Nouvelle-France: le point de vue de l'archéologie. *Les Cahiers des dix*, 62: 21-59.
- MULLER, T., 2010. Analyse archéontomologique sur le site du Palais de l'intendant (Québec): environnement et vie quotidienne pendant les occupations française et britannique au XVIII<sup>e</sup> siècle. Rapport de stage. Laboratoire d'archéologie environnementale, Université Laval, Québec, 75 p.
- ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, 2009. Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 1510 p.
- QUELLET, S., 2005. Histoire de raconter: le quartier Saint-Sauveur, arrondissement de la Cité. Ville de Québec. Disponible en ligne à: [http://www.latulippe.com/client/media/raconter\\_saint\\_sauveur.pdf](http://www.latulippe.com/client/media/raconter_saint_sauveur.pdf). [Visité le 12-02-10].
- PARENT, A., 2001. Nature et culture, milieu et présence amérindienne aux environs de Québec. Dans: COURVILLE, S et R. GARON (édit.). Québec, ville et capitale. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 28-37.
- PARSONS, C. M., 2011. Plants and peoples: French and indigenous botanical knowledges in colonial North America, 1600-1760. Thèse de doctorat, Université de Toronto, Toronto, 353 p.
- QUERREC, L., L. FILION, R. AUGER et D. ARSENEAULT, 2009. Tree-ring analysis of white cedar (*Thuja occidentalis* L.) archaeological and historical wood in Québec City (Québec, Canada). *Dendrochronologia*, 27: 199-212.
- QUERREC, L., L. FILION et R. AUGER, 2013. Pre-European settlement paleoenvironments along the lower Saint-Charles River, Québec City (Canada). *Ecoscience*, 20: 65-84.
- RICHARD, P.J.H., 1971. Two pollen diagrams from the Québec city area, Canada. *Pollen et Spores*, 13: 523-559.
- ROUSSEAU, J., 1956. Michel Sarrazin, Jean-François Gaultier et l'étude prélinéenne de la flore canadienne. Dans: Les botanistes français en Amérique du Nord avant 1850. Colloques internationaux du CNRS, Paris, p. 149-157.
- ROUSSEAU, J. et G. BÉTHUNE, 1977. Voyage de Pehr Kalm au Canada en 1749. Pierre Tisseyre, Montréal, 674 p.
- SIMARD, H. et A. BOUCHARD, 1996. The precolonial 19<sup>th</sup> century forest of the Upper St. Lawrence Region of Quebec: A record of its exploitation and transformation through notary deeds of wood sales. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 1670-1676.
- SIMONEAU, D., 2009. L'îlot des Palais: une évolution bonifiée, une genèse repoussée. *Archéologiques*, 22: 160-171.
- SOCIÉTÉ LITTÉRAIRE ET HISTORIQUE DE QUÉBEC, 1843. Voyages de découvertes au Canada entre les années 1534 et 1542. Cowan et Fils, Québec, 144 p.
- THIERRY, E., 2001. Samuel de Champlain, voyages en la Nouvelle-France, explorations de l'Acadie, de la vallée du Saint-Laurent, rencontres avec les autochtones et fondation de Québec, 1604-1611. *Cosmopolite*, Paris, 285 p.
- TRUDEL, M., 1968. Initiation à la Nouvelle-France: histoire et institutions. Holt, Rinehart et Winston, Montréal, 323 p.
- TRUDEL, M., 2001. Mythes et réalités dans l'histoire du Québec. *Hurtubise HMH*, Montréal, 325 p.
- VACHON, A., 2000. Talon, Jean. Dictionnaire biographique du Canada. Disponible en ligne à: <http://www.biographi.ca>. [Visité le 12-02-10].
- WIEN, T., 1999. Jean-François Gaultier (1708-1756) et l'appropriation de la nature canadienne. Dans: BARDET, J.-P. et R. DUROCHER (édit.). Français et Québécois: le regard de l'autre. Centre de coopération interuniversitaire franco-québécoise, Paris, 10 p.

## Sélection Laminard inc.

Diane Lemay et Pierre Savard, prop.

- Encadrement
- Laminage
- Matériel d'artiste
- Cours de peinture
- Galerie d'art

254, rue Racine  
Loretteville (Québec)  
G2B 1E6

Tél. : (418) 843-6308  
Fax. : (418) 843-8191  
Courriel : [selection.laminard@videotron.ca](mailto:selection.laminard@videotron.ca)  
[www.selectionart.com](http://www.selectionart.com)



Comptables agréés | Société en nom collectif

5300, boul. des Galeries, bur. 200, Québec QC G2K 2A2  
Tél.: 418 622-4804 | Téléc.: 418 622-2681

# Aménagement et suivi de l'efficacité d'une passe migratoire pour l'omble chevalier et le touladi à l'exutoire du lac du Bombardier, Nunavik

Patrick Charbonneau, Étienne Cormier, Richard Brunet et Gail Amyot

## Résumé

Le projet minier Nunavik Nickel a nécessité la construction d'un pont-seuil à l'exutoire du lac du Bombardier au Nunavik, Québec, Canada. Ce pont-seuil devait permettre aux poissons de transiter entre la rivière de Puvirnituq et le lac. Ainsi, une passe migratoire favorisant le passage de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) et du touladi (*Salvelinus namaycush*) a été aménagée à même le pont-seuil. À la suite de l'aménagement réalisé en 2012, une inspection de la passe migratoire et un suivi de son efficacité ont été réalisés à l'aide du système automatisé IchtyoS™. L'inspection a révélé que les critères de conception étaient respectés bien que de légers travaux correctifs aient dû être réalisés au printemps 2013 pour améliorer l'appel de la passe migratoire. De juillet à septembre 2012, IchtyoS™ a enregistré 166 événements correspondant à des passages de poissons, soit 114 touladis, 45 ombles chevaliers et 7 spécimens non identifiés. Un pic de montaison est survenu à la troisième semaine d'août. Ce pic est corrélé avec une augmentation des niveaux d'eau dans le lac à partir de la mi-août. Les montaisons ont été dominées par le touladi en juillet et août, pour passer à une dominance d'omble chevalier en septembre. Les informations récoltées confirment l'efficacité de la passe migratoire du pont-seuil à l'égard du libre passage de l'omble chevalier et du touladi en montaison.

MOTS CLÉS: IchtyoS™, migration, omble chevalier, passe migratoire, touladi

## Abstract

Development of the Nunavik Nickel mining project required the construction of a dam-bridge at the outlet of Lac du Bombardier (Nunavik, Québec, Canada). A fishway was incorporated into the dam-bridge complex to allow fish (primarily Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and lake trout (*Salvelinus namaycush*)) to move between the Puvirnituq River and the lake. Following completion of the fishway in 2012, it was inspected and its effectiveness assessed using the computerized IchtyoS™ system. Inspection work confirmed that the fishway complied with the design criteria; however, some minor corrective work was conducted in spring 2013, to improve the attractiveness to fish of water flowing through the fishway. Between July and September 2012, the IchtyoS™ system recorded 166 fish passage events, which corresponded to 114 lake trout, 45 Arctic char and 7 unidentified fishes. A peak in upstream migration occurred during the third week of August, which was correlated with an increase in the lake water level that started in mid-August. The upstream migration was dominated by lake trout in July and August, and by Arctic char in September. The information recorded by the IchtyoS™ system confirmed the effectiveness of the fishway with regard to the free passage of upstream migrating Arctic char and lake trout.

KEYWORDS: Arctic char, fishway, IchtyoS™, lake trout, migration

## Introduction

### Mise en contexte

Depuis 2001, Canadian Royalties Inc. (CRI) a découvert et délimité plusieurs gisements de nickel-cuivre-cobalt-platine-palladium-or au Nunavik. À la suite de ces découvertes, CRI a lancé le projet Nunavik Nickel (PNNi) pour la construction d'une mine de nickel et de cuivre. Celle-ci sera entièrement autonome pour son approvisionnement énergétique, en eau pour le concentrateur de minerai et en eau potable pour les camps de travailleurs.

Le PNNi se trouve à l'extrême nord de la province de Québec (figure 1), dans la région de Cape Smith, au Nunavik. Plus précisément, il est situé à 82 km à l'ouest du village de Kangiqsujuaq, à 140 km au sud-est du village de Salluit et à environ 20 km au sud de la mine Raglan, à Katinniq. Le site se trouve également à une vingtaine de kilomètres au nord du parc national des Pingualuit.

Le PNNi comprend, pour l'instant, 4 mines d'extraction de minerai à ciel ouvert (gisements Mesamax, Expo, Mequillon et Ivaqqaq) et 1 mine souterraine (gisement Allamaq). Les concentrés de nickel, de cuivre et de métaux rares produits par le complexe industriel Expo sont acheminés par camion vers la baie Déception et, de là, par voie maritime vers des fonderies situées en Europe.

*Patrick Charbonneau est biologiste (M. Sc.) et chargé de projet chez GENIVAR inc. à Québec où Étienne Cormier travaille comme ingénieur hydraulicien.*

*patrick.charbonneau@genivar.com  
etienne.cormier@genivar.com*

*Richard Brunet est biologiste (Ph. D.) et directeur du bureau de Sherbrooke de GENIVAR inc. alors que Gail Amyot est vice-présidente Santé, Sécurité et Environnement chez Canadian Royalties Inc. de Montréal.*

*richard.brunet@genivar.com  
gail.amyot@canadianroyalties.com*

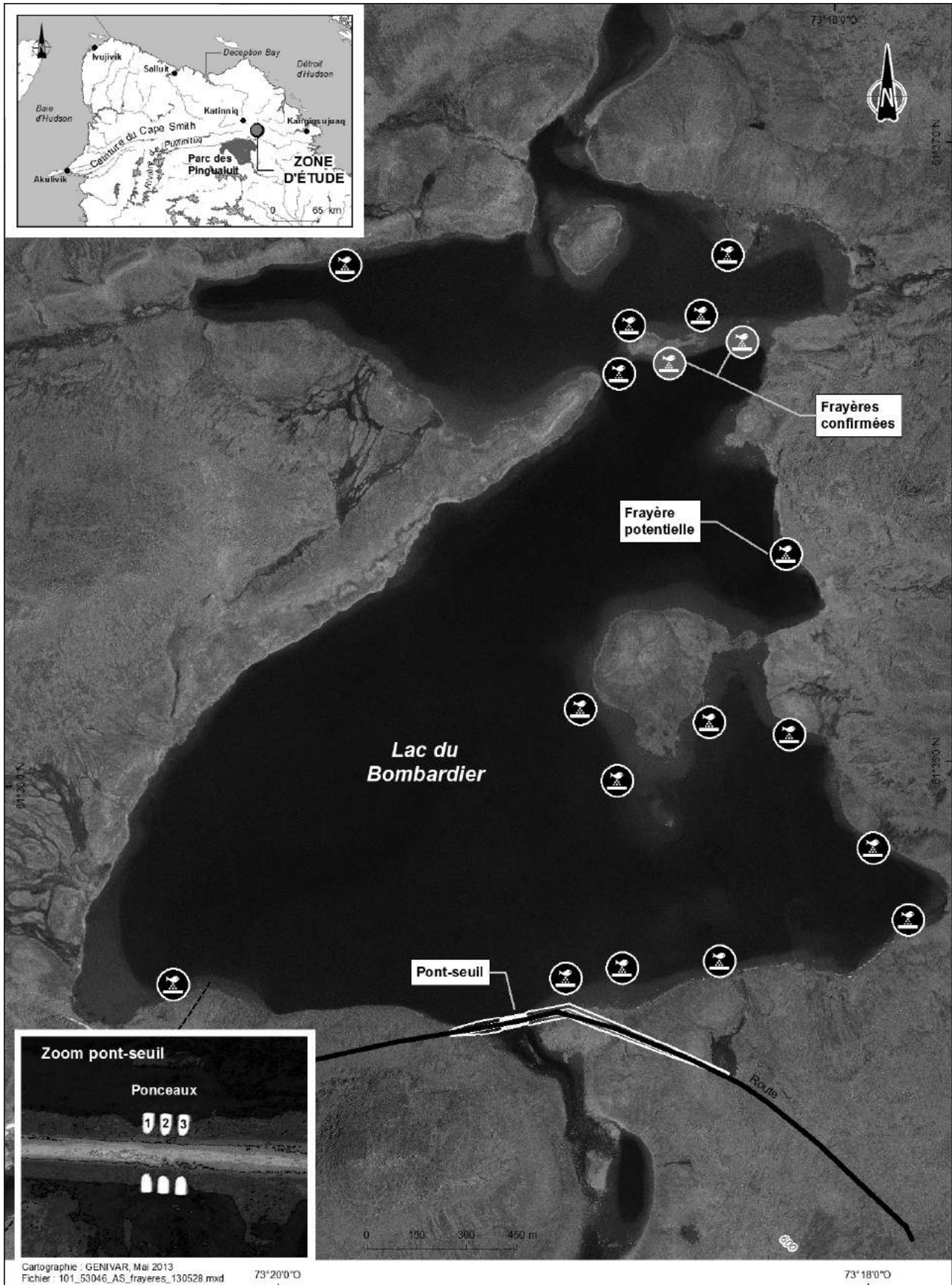


Figure 1. Emplacements du projet Nunavik Nickel et du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, nord du Québec.

Ce projet minier d'envergure fait partie des projets visés à l'annexe A du Chapitre II de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE; LRQ, c. Q-2). Il était donc assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et le milieu social prévue dans la LQE, de même qu'au Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement et le milieu social dans le territoire de la Baie James et du Nord québécois (RRQ, c. Q-2, r.11). La Société minière a reçu son certificat d'autorisation environnemental du gouvernement provincial en 2008 et a reçu les baux miniers pour les sites Expo, Mesamax, Méquillon et Ivaqqaq la même année et en 2009 pour la mine souterraine. Le PNNi était également assujéti à la procédure fédérale par l'intermédiaire d'une autorisation en vertu de la Loi sur les pêches (LRC, 1985, F-14), autorisation qu'il a obtenue en mai 2009.

Mise à part l'exploitation des 5 gisements, qui a débuté par le gisement Expo pendant l'été 2012, les principales composantes du projet sont :

- la construction d'un complexe industriel à proximité du gisement Expo, comprenant le concentrateur, une centrale électrique au diesel, les bureaux administratifs, les logements pour les travailleurs et les bâtiments de services;
- la construction et la maintenance d'un barrage de type pont-seuil à l'exutoire du lac du Bombardier, qui se jette dans la rivière de Puvirnituaq, au nord-ouest du complexe industriel Expo, afin de créer une retenue d'eau devant répondre aux besoins du complexe industriel;
- la construction d'infrastructures portuaires dans la baie Déception;
- la construction d'un réseau de routes et de ponts reliant les diverses infrastructures du projet, soit le complexe industriel et les 5 gisements prévus.

Grâce à une entente conclue avec la compagnie minière voisine, Xstrata Nickel, le PNNi partage l'aéroport Donaldson ainsi que la route menant aux infrastructures portuaires de la baie Déception.

Pour relier les gisements Mesamax et Allamaq au complexe minier Expo, la route d'accès traverse la rivière de Puvirnituaq (figure 1). Le pont-seuil, construit en 2010-2012, enjambe la rivière tout juste en aval du lac du Bombardier. Des pêches scientifiques réalisées dans ce secteur ont confirmé la migration de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) et du touladi (*Salvelinus namaycush*) pendant les mois d'août et septembre, de la rivière de Puvirnituaq vers le lac du Bombardier où des frayères sont présentes. Aussi, en 1991, des pêches avaient confirmé la présence du touladi dans le lac Raglan (GENIVAR, 2007), situé à la tête du bassin versant de la Puvirnituaq. Or, le rehaussement du lac du Bombardier par l'intermédiaire d'un pont-seuil, pour en faire un réservoir d'eau pour les besoins du complexe minier Expo, ne devait pas entraver le libre passage des poissons et, dans son autorisation de 2009, le ministère des Pêches et des Océans du Canada exigeait qu'une passe migratoire soit aménagée à même les infrastructures du pont-seuil. Cette passe migratoire a été construite à l'automne 2011 et terminée au premier semestre de 2012 avant la débacle de juin.

## Biologie des espèces ciblées

### *Omble chevalier*

De toutes les espèces de poissons d'eau douce, l'omble chevalier affiche la répartition la plus nordique. Il existe 2 formes de cette espèce, soit les formes anadrome et dulcicole. En raison de la plus grande abondance relative de nourriture en mer qu'en eau douce à cette latitude, les ombles chevaliers anadromes affichent une croissance rapide durant la saison estivale (Power et collab., 2008). À l'automne, les poissons adultes remontent les rivières pour frayer et hiverner en lac (Bernatchez et Giroux, 2012; Desroches et Picard, 2013).

À la tête du bassin versant de la rivière de Puvirnituaq, seule la forme dulcicole de l'omble chevalier est présente. L'embouchure de la rivière se trouve à environ 260 km du lac du Bombardier, dans la baie d'Hudson, à la hauteur du village inuit de Puvirnituaq. Puisque les lacs et les rivières sont moins productifs que la zone côtière de l'océan Arctique, la croissance de ces ombles est moins rapide que celle des spécimens anadromes et ils atteignent, par le fait même, de moins grandes tailles (Simard, 2004).

Ce salmonidé affectionne les lacs oligotrophes aux eaux claires, profondes et bien oxygénées (Bernatchez et Giroux, 2012) et on lui reconnaît une grande exigence pour des eaux thermiquement stratifiées en été (Johnson, 1980; Lafrenière et Benoît, 1998). Dans la toundra, les lacs sont généralement peu profonds et non stratifiés; il utilise néanmoins tous les habitats aquatiques disponibles puisque les eaux demeurent fraîches même en été. La rareté des espèces compétitrices et prédatrices dans les régions nordiques favorise l'omble chevalier.

L'habitat préférentiel de l'omble chevalier se concentre dans les couches d'eau froide, dont le pourcentage de saturation en oxygène dissous est supérieur à 30 % (Lafrenière et Benoît, 1998). Ce seuil critique peut ne pas être atteint à la fin de l'hiver, surtout dans les lacs situés à la tête des bassins versants. L'espèce est aussi sensible à l'acidité des eaux, les populations d'omble chevalier devenant très vulnérables à un pH de 5,0 ou moins (Clément, 1988; Hesthagen et Sandlund, 1995).

Au nord de son aire de répartition, la fraie a généralement lieu en septembre et octobre (Bernatchez et Giroux, 2012). L'omble ne fraie que tous les 2 ou 3 ans en raison des dépenses énergétiques élevées associées à la reproduction et du court été arctique (Power et collab., 1989). Ce dernier se reproduit généralement sur des hauts-fonds de gravier ou de roches en lac, mais aussi en rivière (Clément, 1988; Bernatchez et Giroux, 2012).

### *Touladi*

La limite septentrionale de l'aire de répartition du touladi se trouve à la hauteur du PNNi (Scott et Crossman, 1974; Bernatchez et Giroux, 2012). Celle-ci serait étroitement associée aux phénomènes reliés à la glaciation du Pléistocène, ce qui expliquerait pourquoi il est absent de certains bassins versants, dont les caractéristiques sont pourtant propices à ce salmonidé. Par exemple, il est présent à la tête du bassin versant de la rivière de Puvirnituaq (GENIVAR, 2007).

Très peu tolérant à la salinité, le touladi se rencontre principalement dans les cours d'eau et les lacs du plateau continental, mais il peut faire des incursions occasionnelles en eaux saumâtres en milieux nordiques (Bernatchez et Giroux, 2012; Desroches et Picard, 2013).

Le touladi est reconnu pour ses exigences élevées envers la qualité de l'eau. En effet, il requiert une eau froide, claire, bien oxygénée et un pH supérieur à 5,4 (Fondation de la faune du Québec [FFQ], 1996). Par exemple, des températures trop chaudes et des concentrations en oxygène dissous inférieures à 5 mg/L limitent davantage la répartition et l'abondance du touladi, particulièrement durant la deuxième moitié de l'été et à la fin de l'hiver (Kerr et Lasenby, 2001). Dans l'Arctique, ces facteurs ne sont pas contraignants, ce qui permet au touladi de prospérer même dans les plans d'eau peu profonds (Desroches et Picard, 2013).

Le touladi se reproduit à l'automne, généralement en septembre, au nord de son aire de répartition. Il fraie la grande majorité du temps en lac et utilise un substrat composé d'un assemblage de galets, de blocs et de cailloux. Le substrat doit être propre (absence de particules fines) et les interstices doivent être nombreux et profonds (FFQ, 1996). Les frayères se trouvent généralement à de faibles profondeurs, soit entre 0,5 et 12 m (Bernatchez et Giroux, 2012). Le touladi se caractérise par une maturité sexuelle tardive, la participation à une première fraie n'étant pas observée avant une douzaine d'années (Bernatchez et Giroux, 2012).

## Méthodologie

### Zone d'étude et description du pont-seuil

Avant son rehaussement, le lac du Bombardier couvrait une superficie de 449 ha. Son niveau d'eau a été rehaussé de 1 m avec l'aménagement d'un pont-seuil à son exutoire (figure 1) permettant d'emmagasiner un volume d'eau d'environ 3 000 000 m<sup>3</sup> et l'ennoiement du milieu terrestre adjacent, créant ainsi 53 000 m<sup>2</sup> (5,3 ha) additionnels de milieu aquatique. En 2006, 2011 et 2012, l'inventaire du lac du Bombardier a mis en lumière la présence de populations d'ombles chevaliers et de touladis, ainsi que de frayères confirmées et potentielles pour ces 2 espèces.

Le pont-seuil est une structure composée de remblais visant à contrôler le niveau de l'eau du lac à une cote d'exploitation de 547,50 m (élévation géodésique). Trois ponceaux en arches d'acier galvanisé, disposés perpendiculairement à la route, dans le sens de l'écoulement de la rivière de Puvirnituk, y ont été aménagés pour contrôler le niveau du lac (figure 1). Chacune de ces arches offre un dégagement vertical de 2 m et un dégagement horizontal de 6 m. Les ponceaux sont ancrés par des blocs de béton placés sur le lit de la rivière. Un déversoir d'urgence, construit à même la route, sert à évacuer l'eau du lac lors des crues printanières ou lors d'événements exceptionnels de précipitations.

Afin de protéger le pont-seuil et de briser les glaces lors de la débâcle, un remblai en forme de croissant a été aménagé en amont des ponceaux, directement dans le lac.

## Passer migratoire

### Critères de conception

Les critères de conception pour la passe migratoire comprennent la hauteur d'échancrure, les vitesses et les distances de nage des poissons, la profondeur d'eau minimale et des aires de repos.

Comme l'omble chevalier et le touladi ne sont pas des espèces réputées « sauteuses » comme le saumon atlantique (*Salmo salar*) (Scott et Crossman, 1974; Scott et Scott, 1988), les hauteurs de chute au niveau des échancrures doivent rester basses. C'est-à-dire qu'idéalement, il ne doit pas y avoir de décollement de la lame d'eau entre la crête de l'échancrure et la surface du niveau d'eau aval.

Si cela n'est pas possible, il faut alors respecter la hauteur de saut maximale suivante :

$$H = (9 \times L)^2 / 2g \text{ (Reiser et Peacock, 1985)}$$

où H = hauteur maximum de saut (m), L = longueur du poisson (m) et g = gravité (9,8 m/s<sup>2</sup>).

Pour avoir une estimation des hauteurs de saut maximales à respecter, des longueurs de poissons entre 20 et 35 cm ont été considérées. Les hauteurs de saut maximales obtenues varient ainsi entre 0,17 et 0,50 m.

S'il y a un saut, ou chute d'eau, il faut également prévoir une profondeur d'eau pour l'appel du poisson équivalente à 1,5 fois la hauteur à franchir. Ainsi, pour un saut de 30 cm, il faut 45 cm d'eau au pied de l'échancrure pour permettre au poisson de prendre son élan.

Les distances qu'un poisson peut franchir dépendent de plusieurs facteurs, dont la vitesse du courant, la température de l'eau, le type d'écoulement, le temps de fatigue qui, lui-même, dépend de l'allure de nage, etc. (Michel Belles-Isles, ichtyologiste, GENIVAR, communication personnelle). Chaque allure de nage fait appel à un métabolisme particulier (aérobie, anaérobie). Afin de simplifier ce critère de conception, les résultats d'études sur la capacité de nage des salmonidés en laboratoire ont été retenus, en prenant comme modèle un poisson de 20 cm de longueur et un autre de 35 cm. Selon le concept proposé, la passe migratoire est composée de seuils avec échancrures espacés de 5,75 m. Les vitesses de courant maximales contre lesquelles les poissons doivent lutter pour franchir cette distance avant d'être fatigués sont les suivantes pour un poisson de 20 cm :

- 0,9 m/s (Larinier, 1992);
- 1,2 m/s (eau à 5 °C) à 1,7 m/s (eau à 20 °C) (Larinier, 1993);
- 0,8 m/s (Katopodis et Gervais, 1991).

Pour un poisson de 35 cm, les vitesses de courant maximales sont les suivantes :

- 1,6 m/s (Ziemer, 1961; Evans et Jonhston, 1980);
- 1,9 m/s (eau à 5 °C) à 3,5 m/s (eau à 20 °C) (Larinier, 1992);
- 1,9 m/s (eau à 5 °C) à 3,3 m/s (eau à 20 °C) (Larinier, 1993);
- 1,1 m/s (Katopodis et Gervais, 1991);
- 3,5 m/s (Dane, 1978).

En résumé, la moyenne de ces vitesses est de 1,15 m/s pour des poissons de 20 cm de longueur et de 2,1 m/s pour ceux de 35 cm.

Il faut aussi s'assurer d'une profondeur d'eau minimale de 1,5 fois l'épaisseur du corps du poisson (FishXing, 2006), soit environ 15 cm pour les salmonidés de 35 cm de longueur.

Il faut finalement assurer la présence d'aires de repos (zones de contre-courant ou autre) à l'aval des seuils pour permettre au poisson de se reposer entre les différentes sections.

### **Description de l'aménagement**

La passe migratoire est composée de 3 unités différentes, aménagées à même le fond des 3 ponceaux en arches du pont-seuil (figure 2). Deux des unités sont semblables, sauf pour leur élévation (ponceaux n<sup>os</sup> 1 et 2), l'unité du ponceau n<sup>o</sup> 1 étant 0,15 m plus haute que celle du ponceau n<sup>o</sup> 2. Pour ces 2 aménagements, il y a 5 bassins avec 5 seuils comprenant chacun une échancrure pour laisser passer l'eau d'un bassin à l'autre. Les échancrures sont positionnées en quinconce (figure 2). La troisième unité (ponceau n<sup>o</sup> 3) n'est pas considérée comme une passe migratoire comme telle, car il s'agit d'un fond de béton sans bassin ni échancrure (figure 3). Finalement, une fosse aménagée à l'aval des 3 ponceaux permet de maintenir un niveau d'eau adéquat pour contrôler les hauteurs de chute à l'appel des 3 unités de la passe migratoire (figures 2 et 3).

### **Suivi de l'efficacité de la passe migratoire**

Afin de réaliser le suivi de l'efficacité de la passe migratoire, une clôture a été installée en amont des ponceaux afin de forcer les poissons en montaison à passer dans un système de comptage automatisé IchtyoS<sup>TM</sup>, placé au centre du « V » formé par la clôture (figure 4). Toutefois, elle permet aux poissons de moins de 1,5 cm de large de passer librement à travers. Par ailleurs, cette clôture flottante est conçue pour s'ajuster d'elle-même aux variations du niveau d'eau.

Le système IchtyoS<sup>TM</sup> utilise la technologie du laser. L'unité de surveillance est constituée de 3 bandes détectrices, reliées entre elles par des panneaux de Plexiglas<sup>TM</sup> (figure 4). Chacune des bandes est composée d'une série d'émetteurs lasers (en bas) et d'une série de récepteurs (en haut) placées en vis-à-vis. L'ensemble constitue ainsi un passage horizontal, coupé par 3 rideaux verticaux de faisceaux laser. C'est en traversant ces faisceaux que les poissons activent les différentes bandes détectrices. Ces données sont relayées, via le câble de connexion, vers l'unité de contrôle qui interprète les informations enregistrées par l'unité de surveillance (figure 4).

Le système IchtyoS<sup>TM</sup> classe les poissons qui le traversent en 3 classes de longueur, soit moins de 50 cm, entre 50 et 63 cm et plus de 63 cm. Lorsque les conditions le permettent, le système évalue également la longueur réelle des poissons. IchtyoS<sup>TM</sup> enregistre aussi la date, l'heure et le sens du passage, soit vers l'amont ou vers l'aval. Afin de permettre l'identification des espèces qui passent dans le compteur, celui-ci est couplé à un système d'enregistrement vidéo activé par le passage des poissons. Lorsqu'il est installé en région éloignée, comme dans le cas présent, le système IchtyoS<sup>TM</sup> est aussi couplé à un système de surveillance par caméras, qui permet à la fois de vérifier l'état du système et d'enregistrer le passage de poissons. Cette double

sécurité permet de contre-vérifier à distance les informations fournies par le système IchtyoS<sup>TM</sup>, qui opère seul pendant de longues périodes de temps.

Le système IchtyoS<sup>TM</sup> est alimenté par une série de panneaux solaires unie à des batteries qui peuvent lui donner 6 jours d'autonomie sans approvisionnement d'énergie solaire. Le compteur transmet les données en temps réel par la communication satellite (figure 4).

Finalement, afin de déterminer quel ponceau était fonctionnel en lien avec les conditions locales d'écoulement et leur évolution au cours de la période de suivi, 3 des caméras du système de surveillance ont été orientées vers l'intérieur de chacun des 3 ponceaux. Les images étaient transmises en temps réel à un observateur du centre de traitement des données situé à Sherbrooke (Québec). Les observations supplémentaires ainsi réalisées ont été notées en complément d'information. Ce suivi de l'efficacité de la passe migratoire a été réalisé du 20 juillet au 16 septembre 2012.

## **Résultats**

### **Respect des critères de conception**

#### **Ponceaux n<sup>os</sup> 1 et 2**

Les ponceaux n<sup>os</sup> 1 et 2 comprennent 5 seuils distancés de 5,75 m (figure 2). Les débits mesurés le 20 juillet 2012, à l'intérieur des ponceaux n<sup>os</sup> 1 et 2, étaient respectivement de 0,19 et 0,79 m<sup>3</sup>/s, l'unité du ponceau n<sup>o</sup> 2 présentant un débit supérieur étant donné sa plus faible élévation (tableau 1 et figure 2).

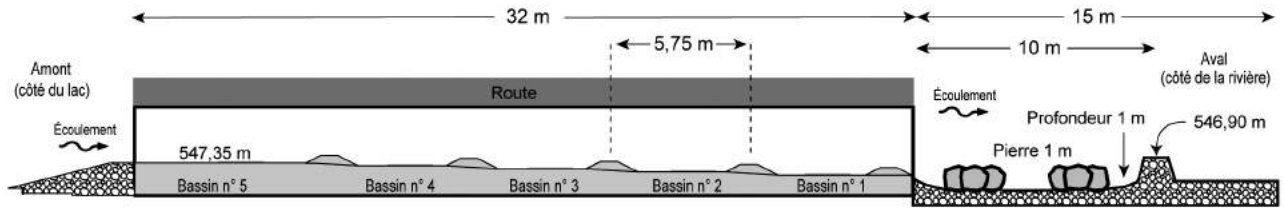
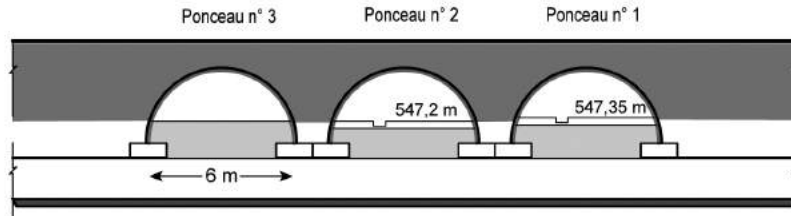
Les profondeurs d'eau dans chacun des 5 bassins du ponceau n<sup>o</sup> 1 variaient entre 0,30 et 0,35 m, alors qu'elles variaient entre 0,46 et 0,50 m pour le n<sup>o</sup> 2. La profondeur d'eau minimale observée dans les échancrures du ponceau n<sup>o</sup> 1 était de 0,2 m, alors que celle du ponceau n<sup>o</sup> 2 était d'environ 0,3 m.

Les vitesses de courant à l'intérieur des bassins des 2 ponceaux variaient en fonction de l'endroit des mesures. Des zones de vitesses nulles ont été mesurées aux extrémités gauche et droite des bassins, alors que les vitesses augmentaient en se rapprochant de la ligne de courant, entre les échancrures amont et aval. Pour chacun des 2 ponceaux, 2 mesures de vitesses ont été effectuées à l'entrée et à la sortie des échancrures (où les vitesses étaient les plus élevées); celles-ci variaient en moyenne entre 0,7 m/s à l'entrée des échancrures et 1,8 m/s à leur sortie pour le ponceau n<sup>o</sup> 1 et, respectivement, entre 0,6 m/s et 1,5 m/s, pour celles du ponceau n<sup>o</sup> 2.

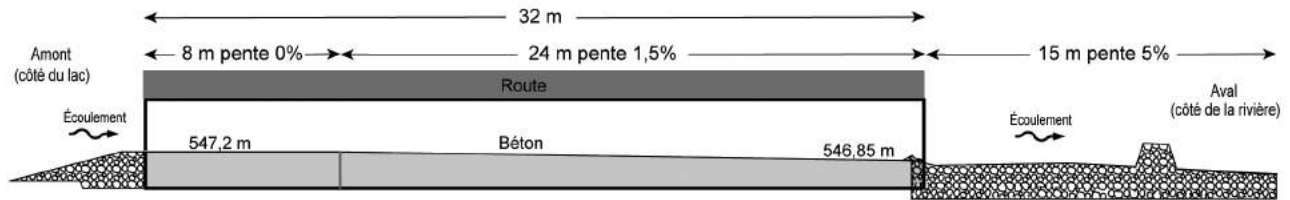
La hauteur de chute mesurée à l'aval des 2 ponceaux entre le niveau d'eau de la fosse aval et le radier aval du ponceau était de 0,28 m et 0,15 m pour les ponceaux n<sup>os</sup> 1 et 2 respectivement (figure 3).

Les passes migratoires mises en place dans les ponceaux n<sup>os</sup> 1 et 2 respectent donc les critères de vitesses et de profondeur d'eau établis au départ (tableau 1). Des zones de vitesses nulles ont été mesurées dans chaque bassin, créant des aires de repos pour les poissons ainsi que des profondeurs d'eau supérieures à 0,3 m. De plus, les hauteurs de chute mesurées étaient inférieures à 0,3 m.

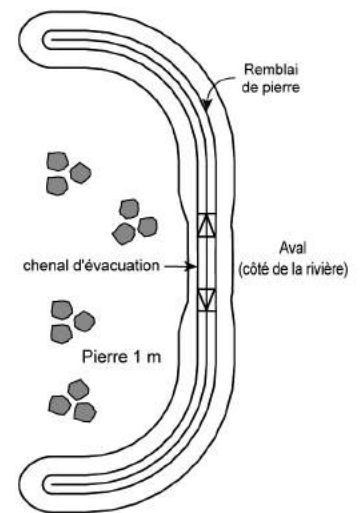
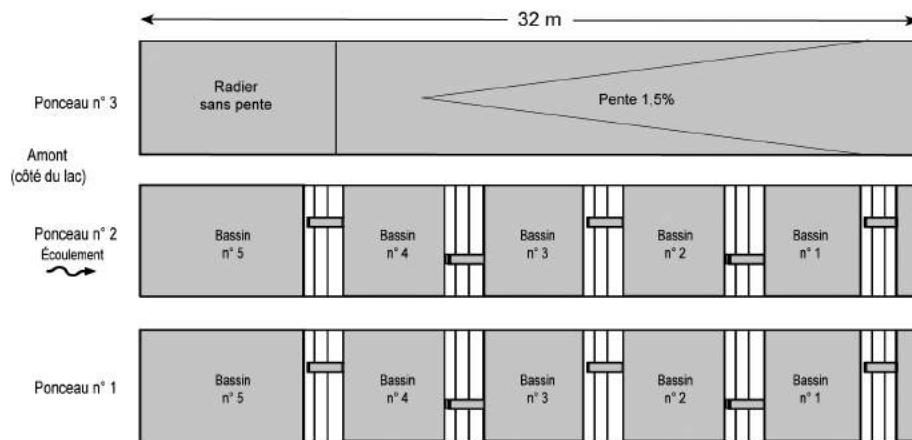
ÉLÉVATION DES TROIS PONCEAUX (AMONT VERS L'AVAL)



COUPE LONGITUDINALE (Ponceaux n° 1 et 2)

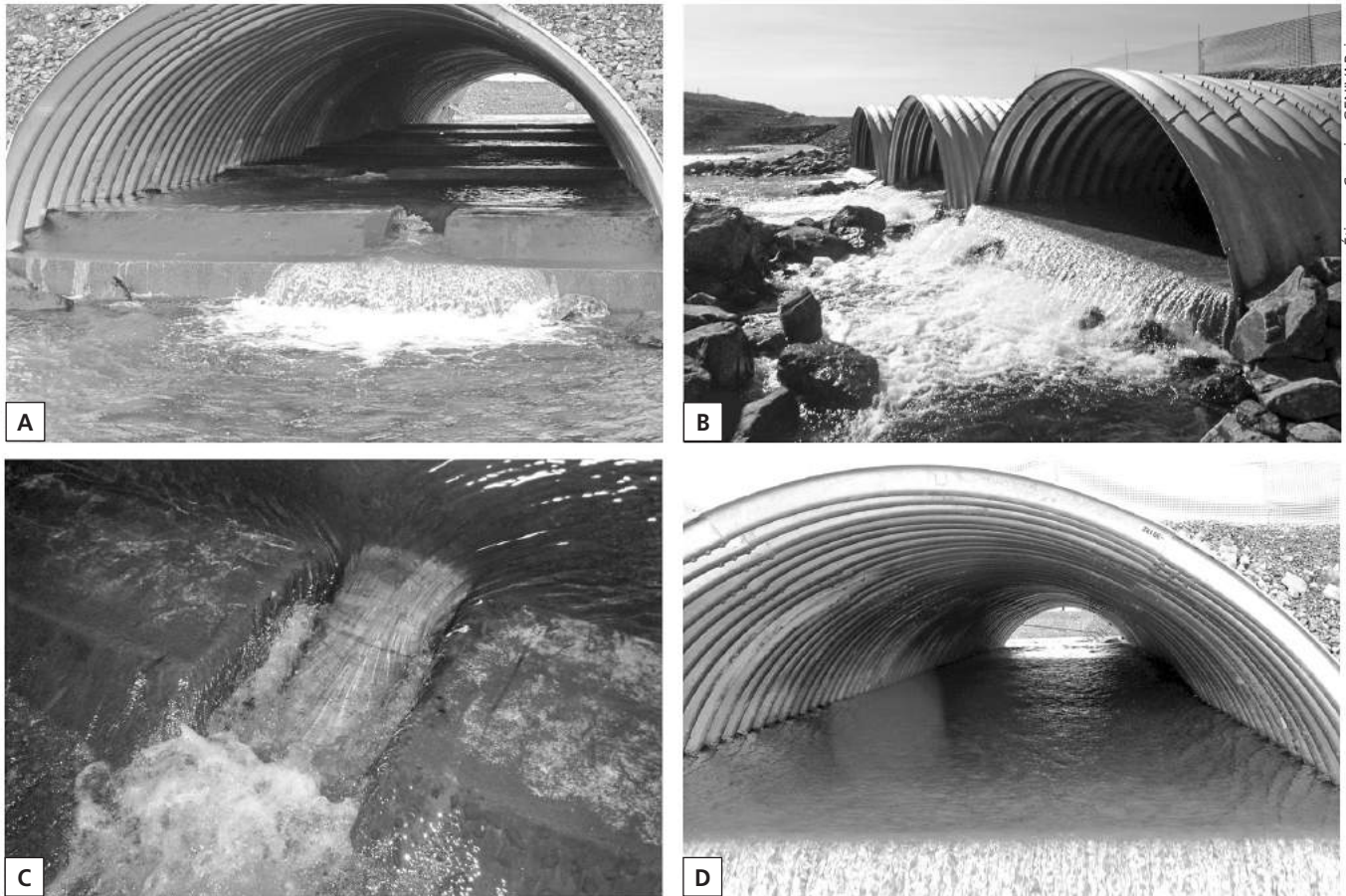


COUPE LONGITUDINALE (Ponceau n° 3)



COUPE EN PLAN DES PONCEAUX

Figure 2. Croquis des ponceaux et de la passe migratoire du lac du Bombardier, Nunavik.



Étienne Cormier, GENIVAR, inc.

Figure 3. Passe migratoire du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik. A. passe migratoire du ponceau n°2, B. aval des 3 ponceaux, C. échancrure du ponceau n°1, D. intérieur du ponceau n°3.

### Ponceau n°3

Le ponceau n°3 ne comporte aucun seuil (figures 2 et 3). Le radier amont est à l'élévation 547,20 m et le radier aval est à l'élévation 546,84 m, alors que la pente à l'intérieur du ponceau est de 1,5 %. Le débit mesuré à l'intérieur du ponceau n°3 était de 0,62 m<sup>3</sup>/s. La profondeur d'eau mesurée le 20 juillet 2012 était de 0,16 m à l'amont du ponceau et de 0,09 m au milieu et à l'aval de ce dernier. La vitesse de courant était pour sa part d'environ 0,75 m/s à l'amont du ponceau et de 1,70 m/s au milieu et à l'aval. La hauteur de chute, mesurée à l'aval du ponceau, entre le niveau d'eau de la fosse aval et le radier aval du ponceau, était de 0,62 m (figure 3). Ces mesures ont permis de constater que le critère de conception concernant la hauteur de chute n'était pas respecté pour le ponceau n°3 (tableau 1).

### Fosse aval

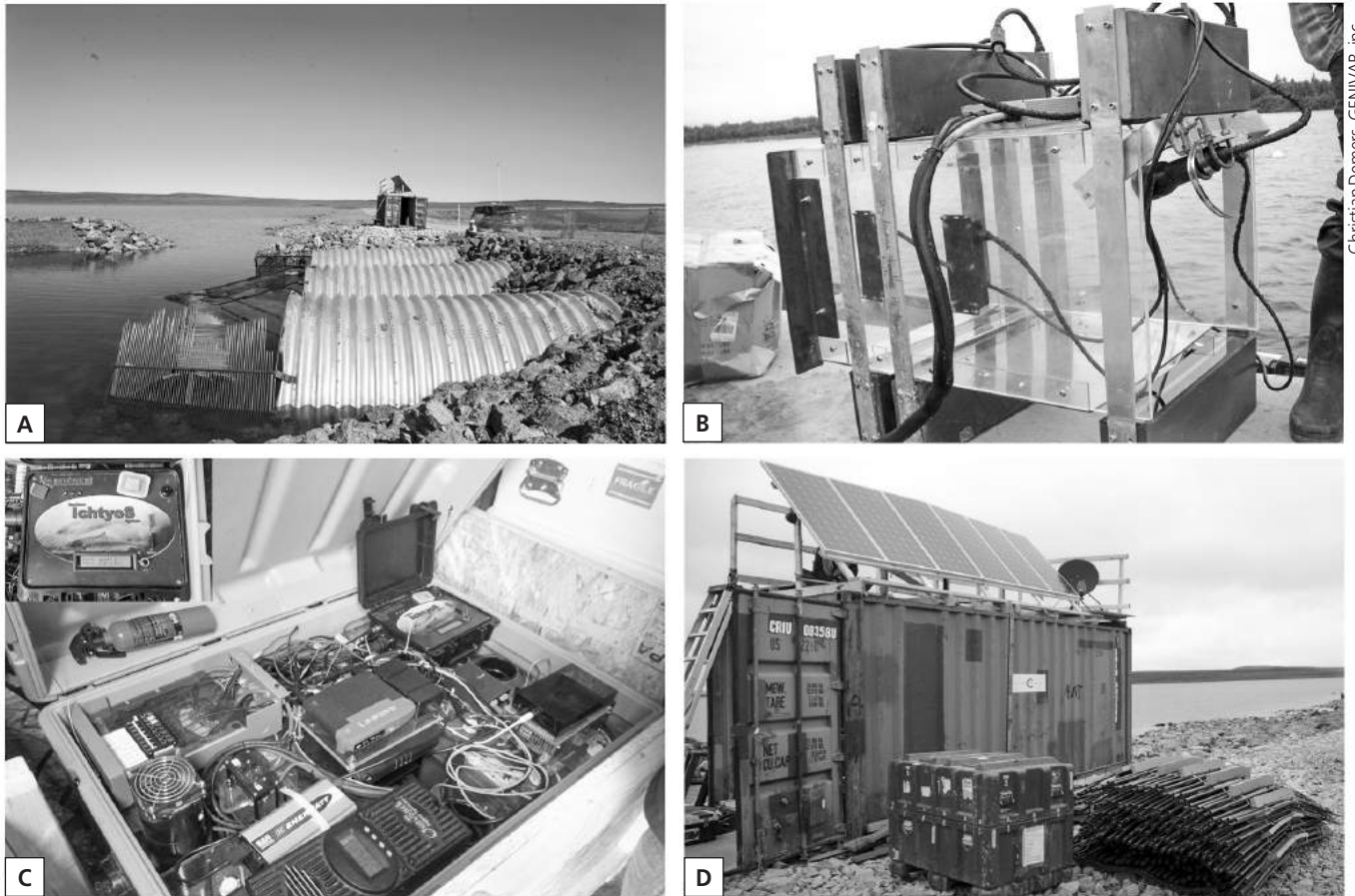
Cette fosse est située à l'aval des 3 ponceaux et constitue une aire de repos pour les poissons avant de franchir les ponceaux. Elle permet aussi de maintenir un certain niveau d'eau en période d'étiage, pour conserver une hauteur de chute franchissable par les poissons (figures 2 et 3). Lors de l'inspection du 20 juillet 2012, la profondeur d'eau dans

la fosse était supérieure à 0,5 m et atteignait plus de 1 m à certains endroits.

À la suite de la crue printanière de 2012 (fin juin), une partie de l'enrochement formant l'enceinte de la fosse aval a été emportée. Le chenal d'étiage, à l'origine d'une largeur de 1 m, avait alors une largeur de plus de 5 m et son élévation avait diminué. L'enrochement en place permettait toujours de maintenir une profondeur d'eau suffisante dans la fosse, mais l'affaissement de la crête du chenal avait entraîné une baisse du niveau d'eau et créé une augmentation de la hauteur de chute au radier aval des ponceaux, notamment au ponceau n°3. Les mesures prises ont permis de constater que les critères de conception concernant la profondeur d'eau dans la fosse aval étaient toujours respectés, mais que cette dernière avait subi des dommages lors de la crue printanière.

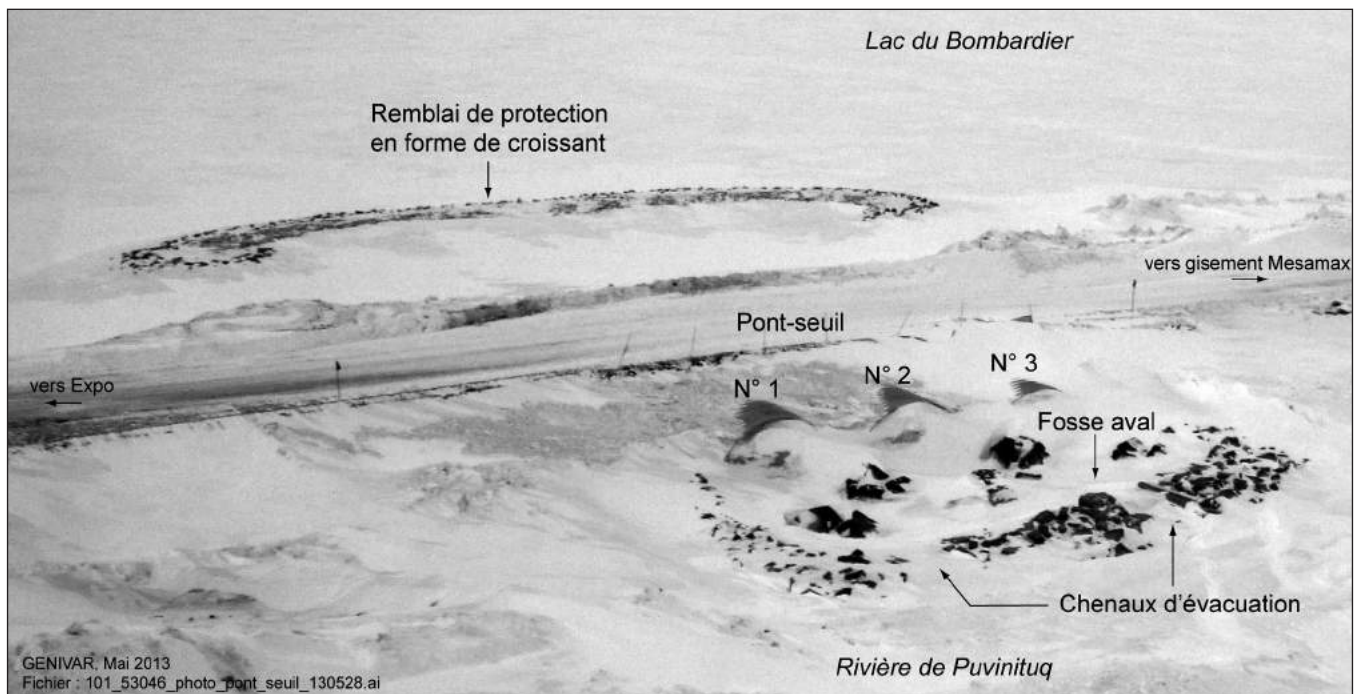
Des travaux correctifs ont été effectués en avril 2013 (durant la période de gel), afin de rehausser la hauteur de crête de l'enceinte de la fosse et de diminuer la hauteur de chute du ponceau n°3. Contrairement à ce qui est présenté à la figure 2, 2 chenaux d'évacuation ont été aménagés (figure 5) pour que le débit printanier puisse être évacué efficacement et pour assurer la stabilité de l'enceinte. Des inspections ont été réalisées au cours de l'été 2013 et les résultats confirment que la structure a résisté à la crue printanière et qu'elle est stable.





Christian Demers, GENIVAR, inc.

Figure 4. Système IchtyoS™ mis en place pour le suivi du passage des poissons au lac du Bombardier, Nunavik. A. Clôture du système en amont des ponceaux, B. boîtier du compteur à poissons et système de caméra vidéo (unité de surveillance avec faisceaux lasers), C. systèmes électronique et informatique (unité de contrôle), D. système satellite et panneaux solaires.



GENIVAR, Mai 2013  
Fichier : 101\_53046\_photo\_pont\_seuil\_130528.ai

Figure 5. Aménagement de la fosse en aval du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, printemps 2013. Notez le remblai en forme de croissant présent à l'amont des ponceaux pour leur protection contre les glaces.

**Tableau 1. Évaluation du respect des critères de conception de la passe migratoire du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, 20 juillet 2012.**

Variable	Critère de conception	Ponceau n° 1	Ponceau n° 2	Ponceau n° 3
Distance entre les seuils	5,75 m	5,75 m	5,75 m	Aucun seuil
Élévation de la crête du seuil en amont	–	547,35 m	547,20 m	547,20 m
Élévation du radier en aval	–	546,55 m	546,30 m	546,84 m
Débit mesuré	–	0,19 m <sup>3</sup> /s	0,79 m <sup>3</sup> /s	0,62 m <sup>3</sup> /s
Présence de chutes en aval des échancrures	–	Non	Non	Écoulement laminaire de l'amont vers l'aval
Profondeur d'eau minimale dans les échancrures	0,15	0,20 m	0,30 m	0,16 m à l'amont et 0,09 m à l'aval du ponceau
Profondeur d'eau dans les bassins	0,45 m si chute de 0,30 m	0,30 à 0,35 m	0,46 à 0,50 m	0,16 m à l'amont et 0,09 m à l'aval du ponceau
Épaisseur de la lame d'eau au-dessus des seuils	–	0 m	0,15 m	s.o.
Vitesse du courant	Entre 1,15 et 2,1 m/s	Entre 0,7 et 1,8 m/s	Entre 0,6 et 1,5 m/s	0,75 m/s à l'amont et 1,70 m/s à l'aval du ponceau
Vitesse de courant nulle mesurée?	–	Oui	Oui	Non
Hauteur de chute maximale à l'aval du ponceau	0,17 à 0,5 m	0,28 m	0,15 m	0,62 m

### **Efficacité de la passe migratoire**

Pendant l'ensemble de la période de suivi, le système IchtyoS<sup>TM</sup> a enregistré 166 événements correspondant à des passages de poissons : 114 étaient des touladis, 45 des ombles chevaliers (figure 6) et 7 spécimens n'ont pu être identifiés à l'espèce.

Une première analyse des données du système IchtyoS<sup>TM</sup>, toutes espèces confondues, a permis de constater que les ponceaux ne semblaient pas constituer un obstacle aux poissons dans les conditions de débit et de niveau d'eau qui ont prévalu pendant la période de suivi. En effet, le système

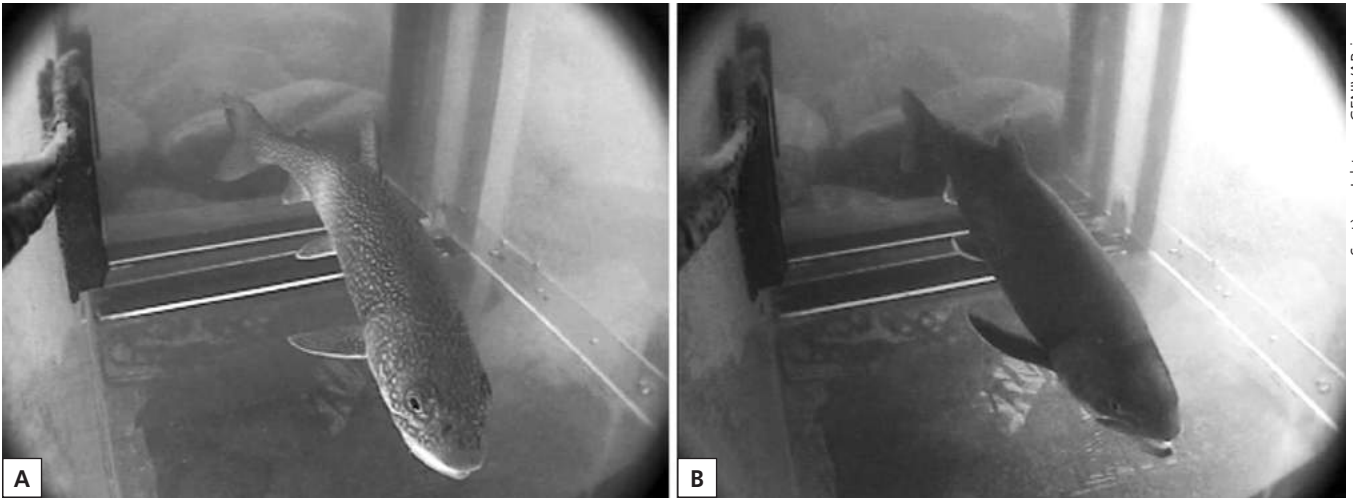
a enregistré des passages de poissons presque tous les jours au cours de la période de suivi (figure 7), ce qui suggère qu'au moins un ponceau offrait en tout temps des conditions favorables pour la montaison des espèces cibles. D'ailleurs, tous les déplacements enregistrés au cours de la période de suivi étaient dirigés vers l'amont. Nous constatons également la présence, sur la figure 7, d'un pic de montaison aux environs de la troisième semaine du mois d'août. Cependant, juste avant ce pic de montaison, plusieurs jours sans passage de poisson ont été enregistrés (11, 12, 14 et 16 août). Cette absence apparente d'enregistrement correspond à un moment où le système IchtyoS<sup>TM</sup> n'était pas en condition optimale de fonctionnement, du fait de l'encrassement progressif de ses bandes de détection. Un nettoyage a alors dû être réalisé pour restaurer le bon fonctionnement du système.

À la suite de la crue printanière survenue vers le 20 juin en 2012, le niveau d'eau a diminué constamment pour atteindre un minimum au début août (547,38 m ; figure 8), un niveau voisin de l'élévation de crête du premier seuil du ponceau n° 1 (547,35 m). À partir de la mi-août, les niveaux d'eau du lac s'élevèrent continuellement jusqu'en septembre, ce qui correspond à des événements pluvieux plus fréquents. Le pic de montaison s'est déroulé lorsque les niveaux d'eau ont commencé à augmenter, à partir de la mi-août (figures 7 et 8).

En considérant les données espèce par espèce (figure 9), nous remarquons que les montaisons ont été dominées par le touladi pendant les 3 premières périodes de 15 jours, en juillet et août, pour finalement passer à une dominance de l'omble chevalier dans la dernière quinzaine de la période de suivi, en septembre. Bien que la période d'étude semble avoir couvert la majeure partie de la saison de montaison du touladi en 2012, le nombre d'ombles chevaliers en montaison était encore en augmentation au cours de la dernière quinzaine de la période de suivi (figure 9).

La majorité des poissons recensés par le système IchtyoS<sup>TM</sup> étaient des poissons de 50 cm et plus (88 %) ; seuls 20 petits poissons (< 50 cm) ont transité par le compteur à poissons. Il est possible que certains petits poissons soient passés à travers la clôture délimitant l'entonnoir menant au système IchtyoS<sup>TM</sup>. Il est également plausible que la hauteur de chute en période d'étiage limite le passage des petits poissons de 20 cm et moins. Selon Scott et Crossman (1974), les jeunes ombles chevaliers sont les derniers à remonter les rivières. Il est donc probable qu'un pic de montaison se fasse après la mi-septembre pour les jeunes de cette espèce (poissons de petite taille).

Les observations réalisées à partir des caméras de surveillance montrent que, lorsque le niveau de l'eau était au plus bas, le ponceau n° 2 présentait les meilleures conditions pour le passage des poissons. Lorsque le niveau d'eau était plus haut, les 3 ponceaux ont été utilisés par les poissons pour atteindre le lac. Au cours de la période de suivi, la caméra du ponceau n° 3, sans passe migratoire, a filmé 22 poissons malgré la hauteur de chute qui était supérieure au critère de conception établi, comparativement à 47 filmés au ponceau n° 2 et 10 au ponceau n° 1.



Systeme Ichtyos, GENIVAR inc.

Figure 6. Poissons passant dans le système IchtyoS™ au lac du Bombardier, Nunavik. A. Touladi, B. Omble chevalier.

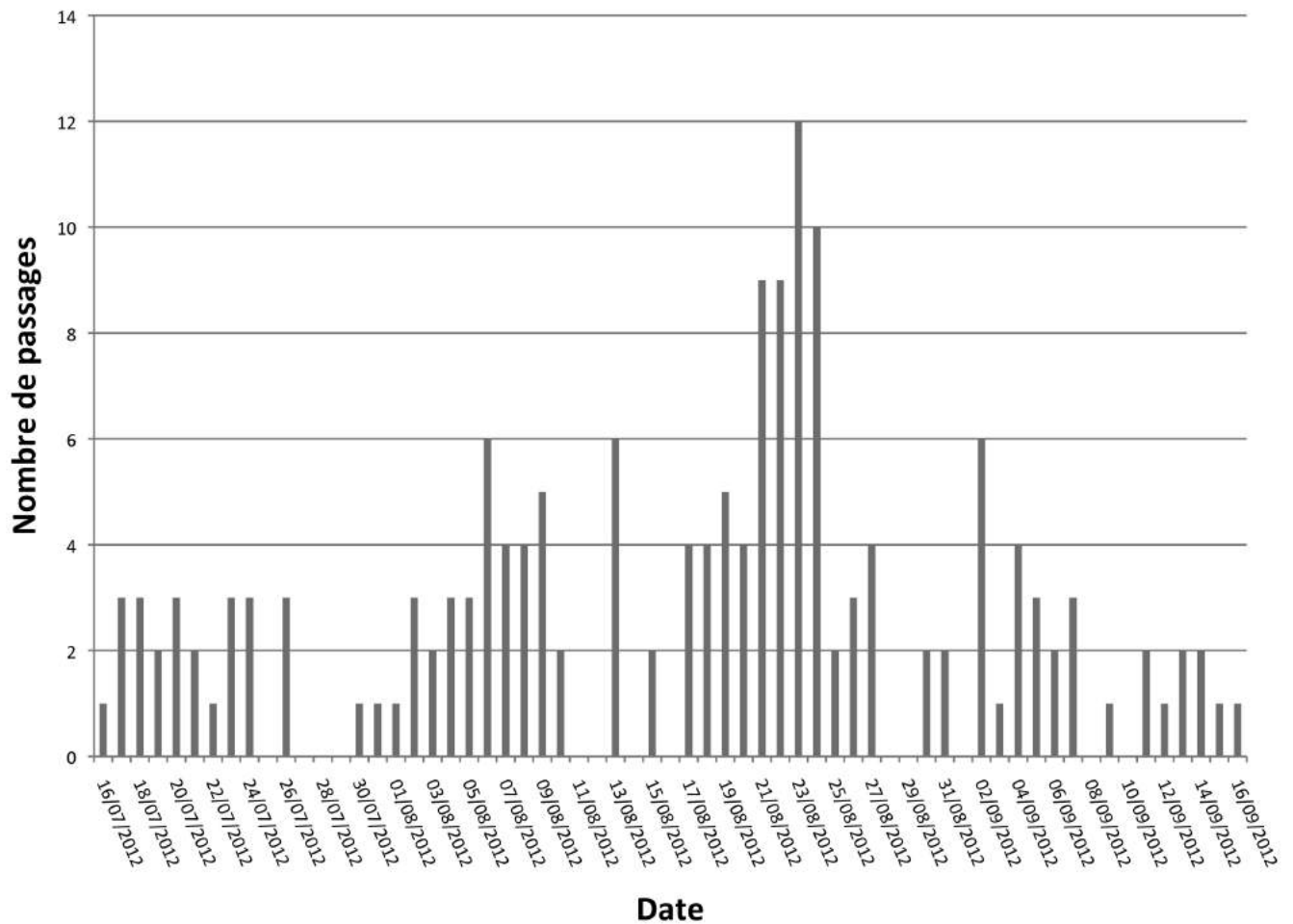


Figure 7. Nombre de passages de poissons par jour (toutes espèces confondues), du 16 juillet au 16 septembre 2012, passe migratoire du lac du Bombardier, Nunavik.

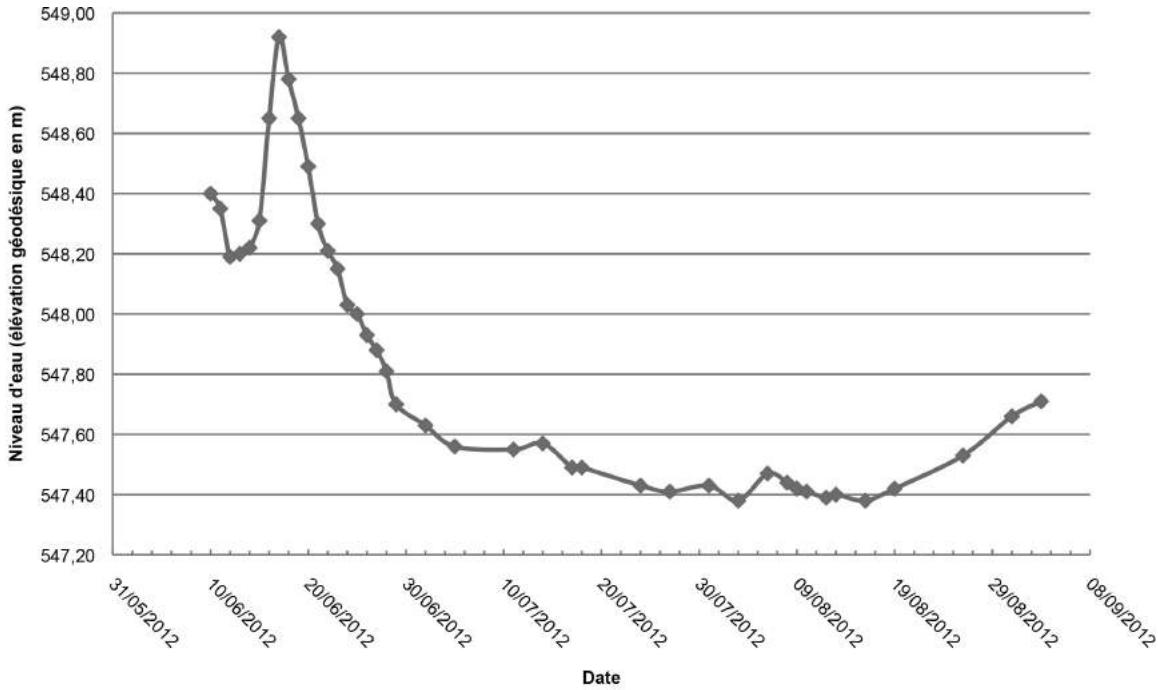


Figure 8. Évolution du niveau d'eau en amont des ponceaux dans le lac du Bombardier, Nunavik, du 10 juin au 3 septembre 2012.

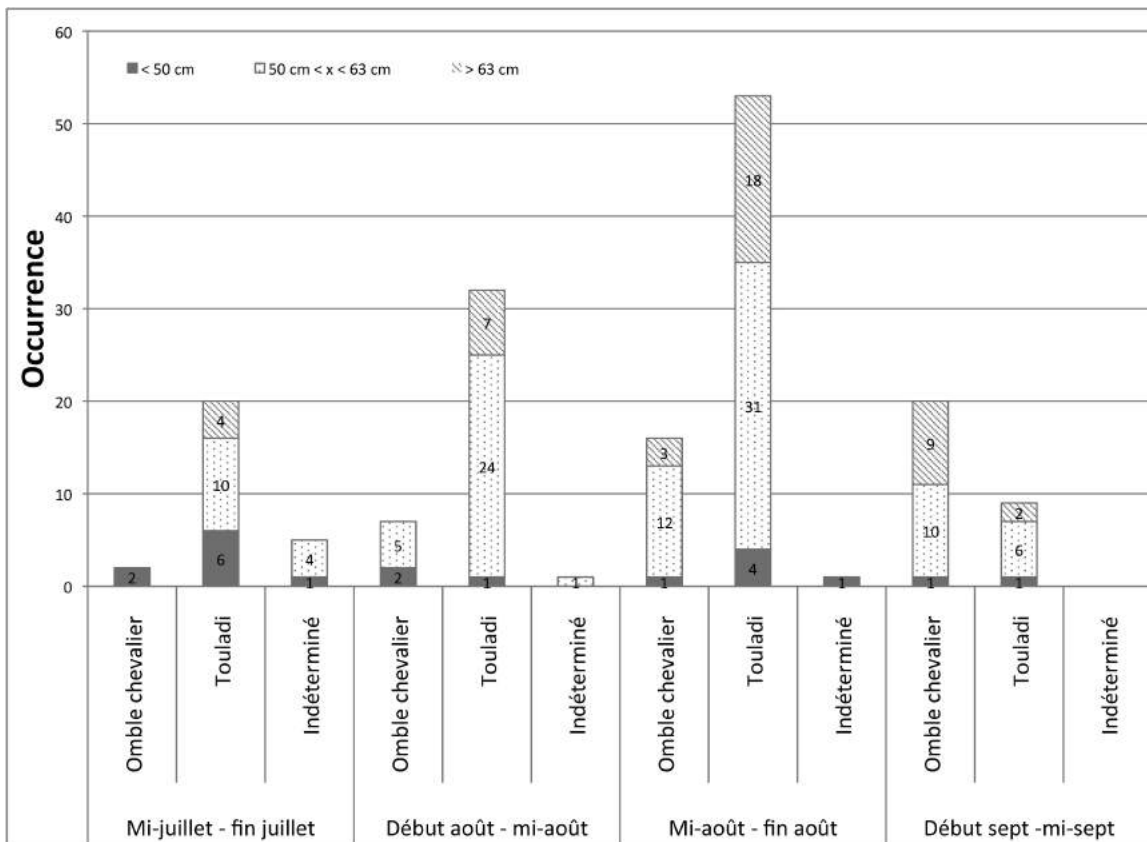


Figure 9. Nombre de passages de poissons, ventilés par espèce et par classes de taille, enregistrés, par tranche de 2 semaines, au pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, été 2012.

Le système de caméras de surveillance étant indépendant du système IchtyoS™, il n'était pas possible de déterminer la longueur des poissons. Par ailleurs, selon les jeux d'ombres et l'heure du jour, il est possible que les caméras de surveillance n'aient pas détecté tous les poissons, surtout la nuit. Par contre, le système IchtyoS™ continue à enregistrer et filmer les bandes vidéo étant alors en noir et blanc la nuit et en couleur le jour.

## Conclusion

Le concept relativement simple de la passe migratoire élaboré pour le pont-seuil de la rivière de Puvirnituq s'est avéré efficace pour l'omble chevalier et le touladi. L'aménagement a été réalisé dans une zone à la topographie peu accidentée, avec une pente faible de 1,5 %, ce qui semble être favorable aux déplacements migratoires de ces 2 espèces. Ce même concept pourrait donc être facilement appliqué sur de nombreux autres cours d'eau du Nunavik aux caractéristiques similaires.

Étant donné l'éloignement, les passes migratoires aménagées dans le Grand Nord sont souvent artisanales et rudimentaires. À titre d'exemple, des travaux visant à ouvrir des couloirs de migration pour l'omble chevalier, dans la région de Kangiqsujaq, se font à la main, avec un budget très limité et un minimum d'équipement lourd, vu l'inaccessibilité des sites à aménager, sauf par petit bateau ou en hélicoptère. La pérennité de tels aménagements n'est toutefois pas assurée et nécessite un entretien annuel, qui en fait est peu coûteux, mais récurrent.

Bien que le pont-seuil aménagé dans le cadre de ce projet ait nécessité le recours à la machinerie lourde et à une main-d'œuvre spécialisée, il a été conçu dans un esprit de durabilité, tel qu'exigé par le ministère des Pêches et des Océans du Canada. Cet aménagement a également impliqué des efforts logistiques considérables, afin de ne pas nuire à la dévalaison ni à la montaison des poissons, ce qui aurait été le cas si l'ouvrage avait été construit durant la courte saison estivale (juillet et août). Il a donc été choisi de réaliser les travaux en hiver, alors que le débit de la rivière est bas et facile à contrôler en raison des faibles débits et de la faible mobilité des poissons hivernant dans les fosses profondes des lacs et des cours d'eau. La construction en période hivernale apporte néanmoins son lot de défis, puisque les ponceaux ont dû être chauffés pour permettre aux travailleurs d'avoir un environnement sécuritaire de travail et pour assurer une température adéquate à la prise du béton.

Le suivi de l'efficacité de la passe migratoire a aussi demandé certaines adaptations, propres aux suivis sur une longue période en région éloignée. Les techniques standards avec trappes et barrières de comptage s'avèrent relativement coûteuses et nécessitent beaucoup de ressources humaines. Le système IchtyoS™ est donc rapidement devenu la meilleure option, malgré les défis techniques reliés à l'alimentation électrique et au transfert des données en temps réel. Ce système polyvalent, qui peut être installé dans une passe migratoire ou directement sur le lit d'une rivière, au niveau d'une barrière de comptage, avait préalablement été déployé avec succès aux

passes migratoires de Cap-Santé et du barrage McDougall sur la rivière Jacques-Cartier, ainsi que dans les rivières du Gouffre, Ouelle et La Romaine, dans le cadre du décompte de la dévalaison des salmonidés.

Le système IchtyoS™ offre 2 avantages majeurs pour le décompte de poissons en rivière soit, d'une part, sa légèreté et la mobilité de sa structure d'installation en cas d'inondation et, d'autre part, la libre circulation du poisson qui n'est jamais confiné dans une cage, passant à travers le système. Le rythme naturel de migration des poissons est donc respecté, tout en réduisant le stress causé par les manipulations inhérentes aux systèmes de décompte standards, de même que les risques de braconnage lorsque les poissons sont immobilisés dans les trappes et que les opérateurs sont absents. De plus, le système étant automatisé, les risques d'erreurs humaines pouvant survenir aux barrières de décompte de poissons sont grandement diminués.

## Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier Canadian Royalties Inc. pour l'autorisation de publier les résultats. Nous remercions également les personnes suivantes qui ont travaillé de près ou de loin à la réussite de l'aménagement au pont-seuil : Myriam Bédard, Patrice Bégin, Michel Belles-Isles, Dominick Cuerrier, Christian Demers, Mathieu Deshaies, Rémi Duhamel, Daniel Dusseault, Marc Gagné, Patrick Garneau, Nathalie Guérard, Nicolas Kuzyk, Mélanie Lévesque, Frédéric Milord, Georges Morin, Pierre Pelletier, Yanick Plourde, Jean-Simon Roy, Olivier Tremblay, Stéphane Twigg et Sébastien Vadeboncoeur. Nous tenons à mentionner l'apport critique de Michel Leclerc, Jérôme Doucet et Jean-Guy Jacques de Pêches et Océans Canada lors de la conception des plans de la passe migratoire. Nous sommes reconnaissants envers Gilles Wiseman pour la production des figures. Merci à Michel Crête, Marc Gauthier, Jérôme Léger et Jean Painchaud pour leurs commentaires judicieux. ◀

## Références

- BERNATCHEZ, L. et M. GIROUX, 2012. Les poissons d'eau douce du Québec et leur répartition dans l'Est du Canada. Édition Broquet, Saint-Constant, 348 p.
- CLÉMENT, A.-M., 1988. La situation des populations d'omble chevalier d'eau douce (*Salvelinus alpinus*) au sud de leur aire de distribution, en Amérique du Nord. Revue de littérature. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Direction générale des ressources fauniques, Québec, 48 p. et annexes.
- DANE, D.G., 1978. Culvert guidelines: Recommendations for the design and installation of culverts in British Columbia to avoid conflict with anadromous fish. 4<sup>e</sup> édition. Fisheries and Marine Service, Technical Report n° 811, Vancouver, 57 p.
- DESROCHES, J.-F. et I. PICARD, 2013. Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes. Éditions Michel Quintin, Waterloo, 471 p.
- EVANS, W.A. et F.B. JOHNSTON, 1980. Fish migration and fish passage: A practical guide to solving fish passage problems. United States Department of Agriculture, Forest Service, Region 5, Vallejo, 43 p.
- FISHXING, 2006. User manual and reference. Software FishXing, version 3.0, San Dimas, 230 p.
- FONDATION DE LA FAUNE DU QUÉBEC (FFQ), 1996. Habitat du poisson : le touladi. Guide d'aménagement d'habitats. Fondation de la faune du Québec, Québec, 20 p.

- GENIVAR, 2007. Projet Nickélfère Raglan Sud – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport préparé pour Canadian Royalties Inc., Amos, 649 p. et annexes.
- HESTHAGEN, T. et O.T. SANDLUND, 1995. Current status and distribution of arctic char (*Salvelinus alpinus*) in Norway: The effects of acidification and introductions. *Nordic Journal of Freshwater Resources*, 71 : 275-295.
- JOHNSON, L., 1980. The arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Dans: BALON, E.K. (édit.). Charrs, salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. Volume 1. Dr. Junk BV Publishers, The Hague, p. 15-98.
- KATOPODIS, C. et R. GERVAIS, 1991. Ichthyomechanics. Working document. Freshwater Institute, Department of Fisheries and Oceans, Winnipeg, 48 p.
- KERR, S.J. et T.A. LASENBY, 2001. Lake trout stocking in inland lakes: An annotated bibliography and literature review. Ontario Ministry of Natural Resources, Fish and Wildlife Branch, Peterborough, 178 p. et annexes.
- LAFRENIÈRE, L. et J. BENOÎT, 1998. Situation comparative de trois populations d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) du territoire libre de la Mauricie. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction régionale Mauricie-Bois-Francs, Service de l'Aménagement et de l'exploitation de la faune, Trois-Rivières, 51 p. et annexes.
- LARINIER, M., 1992. Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 65 (326-327): 20-29.
- LARINIER, M., 1993. Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacle à la migration. Dans: LARINIER, M., F. TRAVADE, J.P. PORCHER et C. GOSSET (édit.). Passes à poissons: expertise et conception des ouvrages de franchissement. Collection « Mise au point », Conseil supérieur de la pêche, Paris, p. 48-63.
- POWER, G., D. BARTON et K. BRAY, 1989. La gestion de l'omble chevalier. Société Makivik, Kuujuaq, 92 p.
- POWER, M., J.D. REIST et J.B. DEMPSON, 2008. Fish in high-latitude Arctic lakes. Dans: VINCENT, W.F. et J. LAYBOURN-PARRY (édit.). Polar lakes and rivers: Limnology of Arctic and Antarctic aquatic ecosystems. Oxford University Press, New York, p. 249-268.
- REISER, D.W. et R.T. PEACOCK, 1985. A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments. Dans: OLSON, F.W., R.G. WHITE et R.H. HAMRE (édit.). Symposium on small hydropower and fisheries. American Fisheries Society, Western Division, Bethesda, p. 423-432.
- SCOTT, W.B. et E.J. CROSSMAN, 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Bulletin n° 184, Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, Ministère de l'Environnement, Services des pêches et des sciences de la mer, Ottawa, 1 026 p.
- SCOTT, W.B. et M.G. SCOTT, 1988. Atlantic fishes of Canada. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences* 219, 731 p.
- SIMARD, M., 2004. Literature review of arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in Deception Bay and surrounding tributaries. Société de la faune et des parcs du Québec et Makivik Corporation, Nunavik Research Centre, Kuujuaq, 29 p. et annexes.
- ZIEMER, G.L., 1961. Fish transport in waterways. Alaska Department of Fish and Game, Fairbanks, 10 p.



Indigo,  
la pépinière de plantes  
et de semences indigènes

*alpina, americana, borealis, canadensis, grandiflorum,  
laurentiana, maritima, odoratus, palustris,  
terrestris, versicolor et plus encore...*

horticulture-indigo.com

*Virtuoso indigenae*, parlez-nous latin!



**Canards Illimités Canada**  
La conservation des milieux humides

710 rue Bouvier, bureau 260, Québec (Québec) G2J 1C2  
Tél. : 418 623-1650 • Téléc. : 418 623-0420  
[www.canards.ca](http://www.canards.ca)

# Hommage à John Roger Bider (1932-2013)

Rodger D. Titman, G. Jean Doucet et Gregory Weil

Traduit par Jean Doucet et adapté par Sylvie Matte

Une promenade dans la forêt avec Roger Bider se transformait souvent en une leçon d'écologie. Il aimait particulièrement souligner les liens et les interactions entre la flore et la faune des communautés locales. Il connaissait bien les différentes espèces des divers groupes taxonomiques que composaient ces communautés. Il était un naturaliste de terrain, un modèle difficile à trouver parmi les biologistes spécialisés modernes.

Roger est né le 23 novembre 1932. Il a grandi au Québec, à Pointe-Claire. Il commença ses études postsecondaires à la Faculté de foresterie de l'Université du Nouveau-Brunswick, études qu'il termina en 1956, mais en biologie, à l'Université de Montréal. Il obtint sa maîtrise en 1959 de l'Université de Montréal où il étudia l'activité et l'habitat du lièvre d'Amérique. Il compléta son doctorat à la même université, en 1966, bien qu'il l'eût commencé à l'Université du Texas.

La publication de sa thèse de doctorat en 1968 dans la revue *Ecological Monographs* avait comme titre : *Animal activity in uncontrolled terrestrial communities as determined by a sand transect technique*. Son approche innovatrice utilisant la technique des pistes de sable a servi de tremplin à sa carrière de chercheur. Avec les années, il sut raffiner cette technique et pendant un quart de siècle il dirigea 42 étudiants gradués de 2<sup>e</sup> et de 3<sup>e</sup> cycles qui ont effectué plusieurs recherches sur l'activité et le comportement animal, sur l'écologie des communautés ainsi que sur l'aménagement de la faune.

En 1965, Roger fut nommé assistant professeur de biologie de la faune à l'Université McGill (Collège Macdonald, Faculté d'agriculture). Il obtint les titres de professeur associé en 1969, celui de professeur agrégé en 1975, et fut chef du Département des ressources renouvelables de 1977 à 1983. Il demeura au Collège Macdonald jusqu'à sa retraite en 1996. Parmi les cours qu'il a donnés, celui sur l'écologie des déserts jouissait d'une grande popularité. Dans le cadre de ce cours, plusieurs déserts du Sud-Ouest américain étaient visités et étudiés durant une période de 3 semaines.

Les étudiants de Roger Bider réalisèrent rapidement que le format de cours magistral ne lui plaisait pas tellement. Il s'assoyait régulièrement sur le coin de son bureau et racontait des anecdotes concernant ses expériences sur le terrain. Il était passé maître dans l'art de captiver l'intérêt des étudiants pendant qu'il communiquait de façon détendue des concepts de biologie et d'aménagement de la faune. Il était tout particulièrement dans son élément lors d'excursions sur le terrain, alors qu'il expliquait les principes écologiques en temps réel. Les étudiants avaient un grand respect pour lui et appréciaient cette approche. Plusieurs étudiants ont gardé un souvenir de ce professeur si particulier et certains ont même gardé une amitié qui a perduré.

Parmi les nombreuses études auxquelles Roger a participé, nous pouvons nommer celle sur l'écologie de la musaraigne cendrée, qui avait été introduite sur l'île de Terre-Neuve pour contrôler la mouche à scie du mélèze. Il y a eu aussi celle sur les activités

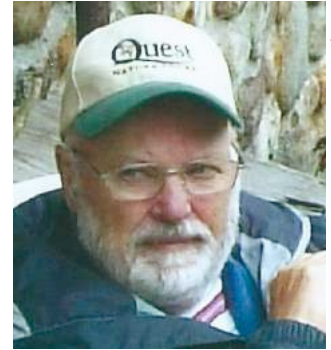
scientifiques associées aux pêcheries et aux ressources fauniques. Sa participation à cette étude lui a procuré une belle occasion d'explorer les aspects socioéconomiques de la gestion de la faune et a eu pour conséquence d'influer par la suite sur son enseignement et son approche envers la gestion de la faune. Il a aussi participé aux études environnementales

associées au projet de développement hydroélectrique du Complexe La Grande (Baie-James), du développement de l'aéroport de Mirabel et du projet original d'aménagement de la rivière Grande Baleine. Il fut conseiller pour les gouvernements du Burundi, du Burkina Faso et d'Haïti concernant les questions d'aménagement et de la gestion de la faune. Il a siégé au Conseil consultatif de l'environnement du Québec entre 1973 et 1990. Il a également agi en tant que conseiller pour diverses agences gouvernementales concernant la gestion des espèces de vertébrés nuisibles de 1986 à 1997.

Parmi ses réalisations, il ne faudrait pas oublier le projet de l'Atlas des amphibiens et des reptiles du Québec, qu'il a démarré en 1988 avec l'aide du gouvernement québécois et de plusieurs bénévoles provenant des 4 coins du Québec. Ce projet, qui est toujours actif, a favorisé une relève d'herpétologues au Québec. Il a permis d'augmenter considérablement nos connaissances sur des classes d'animaux qui étaient complètement ignorées par les gestionnaires de la faune, et de fournir des outils supplémentaires aux organismes qui luttent pour la protection de milieux humides.

En 1981, Roger fonda une société à but non lucratif, la Société d'Histoire Naturelle de la Vallée du Saint-Laurent, dans le but de développer le site du futur parc faunique Écomuséum. En 1988, Roger réalisa un grand rêve quand l'Écomuséum ouvrit ses portes au public. À partir de ce moment, Roger consacra la majorité de ses temps libres aux activités de l'Écomuséum. Durant cette période, les fonds disponibles se faisaient rares et toutes les activités furent réalisées avec peu de moyens. Il demeure étonnant de voir tout ce qui a été accompli dans les circonstances.

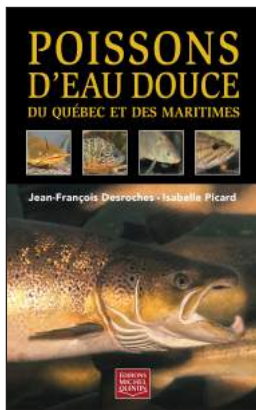
En 1994, Roger Bider a été honoré par La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada et la Fondation de la faune du Québec avec le prix « Gens d'Action » pour son implication dans la fondation de l'Écomuséum. Il a aussi été récompensé par la Fondation de la faune du Québec et par la Société de protection des oiseaux du Québec en recevant leur prix en Éducation en 2008. Finalement, il a également été honoré par la Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent en 2012, lorsque la nouvelle et spectaculaire volière de l'Écomuséum a été nommée officiellement la volière Roger-Bider.



Anne Bowker

## Les livres

### Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes



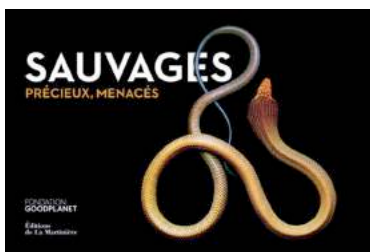
Les auteurs, Jean-François Desroches et Isabelle Picard, n'ont sûrement pas compté leurs heures pour produire un guide d'identification des poissons d'eau douce aussi complet et bien conçu. L'ouvrage s'ouvre sur une courte description des habitats du poisson et de leur gestion pour arriver à une clef d'identification dichotomique permettant de séparer les 120 espèces par famille. Des illustrations permettent de bien comprendre les critères utilisés pour reconnaître les familles. La description des espèces, regroupées par famille, constitue le corps de l'ouvrage.

Un texte de quelques pages présente les caractéristiques de chaque famille ainsi qu'un tableau synthèse sur les espèces qu'elle compte au Québec et dans les Maritimes. Des photos illustrent chaque espèce alors que le texte s'y rapportant comporte 7 sections concises : description, espèces semblables, reproduction, habitat et répartition, alimentation et prédateurs, situation de l'espèce et notes. La section sur les espèces semblables aide à confirmer l'identification. En prime, le guide compte 2 annexes sur les écrevisses et les mulottes, des bivalves d'eau douce. Voilà un guide qui plaira aux naturalistes et aux pêcheurs et qui représentera une source supplémentaire d'information pour les professionnels des milieux aquatiques.

Desroches, Jean-François et Isabelle Picard, 2013, *Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes*. Éditions Michel Quintin, Waterloo, 472 pages. (Prix régulier = 39,95 \$ ; membres de la Société = 32,75 \$\*)

Source : Michel Crête

### Sauvages – précieux, menacés



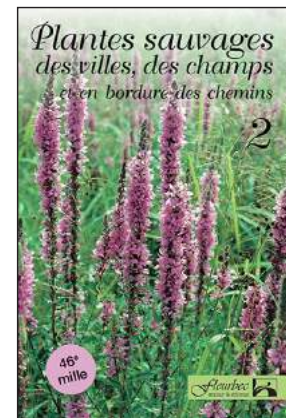
La CITES, l'acronyme anglais pour désigner la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées, célèbre ses 40 ans en 2013. Cette convention réglemente présentement le commerce

international de 5 500 espèces d'animaux et de 29 500 espèces de plantes; aucune ne s'est éteinte à la suite de son inscription sur cette liste bien que plusieurs soient en situation très critique. La CITES a confié à la Fondation GoodPlanet la production d'un livre pour souligner son 40<sup>e</sup> anniversaire. Celui-ci comprend 6 sections (rhinocéros, arbres, reptiles, requins, orchidées et singes), chacune illustrée par un photographe renommé : L. Baheux, Y. Arthus-Bertrand, M. Laita, B. Skerry, S. Bartocha, H. et H.-J. Koch. Des photos artistiques, certaines en noir et blanc, couvrent pratiquement la moitié des pages du volume alors que de courts textes portant sur la biodiversité, le braconnage, le commerce illicite, etc. renseignent le lecteur sur les difficultés de la conservation des milieux naturels et des espèces qui les composent.

Un beau livre qui met en lumière le rôle pernicieux joué par l'appât du gain dans la perte de biodiversité de notre petite planète.

Fondation GoodPlanet, 2013, *Sauvages – précieux, menacés*. Éditions de la Martinière, Paris, 192 pages. (Prix régulier = 34,95 \$ ; membres de la Société = 28,65 \$\*)

Source : Michel Crête



### Plantes sauvages des villes et des champs, tomes 1 et 2

Fleurbec vient de rééditer ces 2 guides d'identification des plantes des villes et des champs qui ont connu un grand succès depuis leur parution puisque plus de 150 000 exemplaires ont trouvé preneur. Le texte des 2 ouvrages n'a pas été modifié depuis les éditions antérieures, mais plusieurs photos ont été améliorées, soit en utilisant de nouvelles photos pour illustrer les espèces, soit en retravaillant les photos originales avec des technologies modernes, augmentant la netteté des images et la fidélité des couleurs. Rappelons que ces 2 guides permettent l'identification des espèces principalement à partir de l'image, les plantes étant regroupées selon la couleur de leurs fleurs. Le premier guide concerne les milieux secs des villes et des champs alors que le second porte sur des milieux moins secs des banlieues, des bords de route et des fossés. La plupart des espèces décrites sont des plantes naturalisées au Québec. Ces 2 guides représentent des outils d'identification pratiques des plantes qui nous entourent, qui plairont aux amateurs de la nature et qui fourniront une source d'information supplémentaire aux professionnels de la botanique.

Fleurbec, 2013, *Plantes sauvages des villes et des champs, tome 1*. Fleurbec, Saint-Henri-de-Lévis, 276 pages. (Prix régulier = 24,95 \$ ; membres de la Société = 20,50 \$<sup>1</sup>)

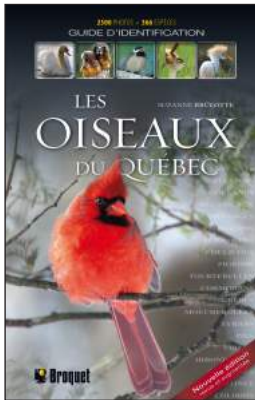
Fleurbec, 2013, *Plantes sauvages des villes et des champs, tome 2, et en bordure des chemins*. Fleurbec, Saint-Augustin-de-Desmaures, 276 pages. (Prix régulier = 24,95 \$ ; membres de la Société = 20,50 \$\*)

Source : Michel Crête

### Les oiseaux du Québec : guide d'identification

Broquet nous offre une nouvelle édition, revue et augmentée, de ce guide d'identification des oiseaux, l'édition précédente remontant à 2006. Ce guide traite de 366 espèces d'oiseaux que les ornithologues québécois sont susceptibles d'observer, dont 46 sont des visiteurs sporadiques. Plus de 2 500 photos en couleurs illustrent l'ouvrage, soit entre 4 et 10 pour chaque espèce. Celles-ci sont regroupées par famille,



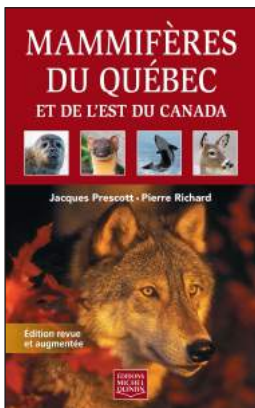


selon la plus récente classification de l'American Ornithologists' Union, un onglet de couleur distinguant chaque famille. En plus des photos et d'une carte de répartition, un court texte et des pictogrammes aident à l'identification des espèces et en résument la biologie. Les photos illustrent les 2 sexes et souvent divers plumages que peuvent porter les individus, adultes ou immatures. Au début du livre se trouve un guide de référence rapide qui prend la forme de petites photos de toutes les espèces, ordonnées par famille, de sorte que

l'on peut facilement comparer des espèces voisines avant de passer à l'identification formelle de l'individu observé. Par ailleurs, les espèces nous visitant à l'occasion sont regroupées à la fin de l'ouvrage, pour faciliter l'identification des espèces habituelles au Québec. Voilà donc un guide qui aidera les nombreux ornithologues québécois à bien identifier les oiseaux qu'ils observent, des plus communs aux très rares. Brûlotte, Suzane, 2013, *Les oiseaux du Québec: guide d'identification*. Broquet, Saint-Constant, 576 pages. (Prix régulier = 29,95 \$; membres de la Société = 24,60 \$\*)

Source: Michel Crête

### Mammifères du Québec et de l'est du Canada



Les Éditions Michel Quintin viennent de rééditer cet ouvrage bien connu, une troisième édition revue et augmentée. Les auteurs, l'un davantage versé dans les milieux terrestres et l'autre dans le milieu marin, synthétisent les connaissances relatives à 95 espèces de mammifères du nord-est de l'Amérique du Nord. Quelques-unes, dont le rat surmulot et la souris commune, représentent des espèces introduites. Dans cette nouvelle édition, les auteurs adhèrent aux plus récentes classifications taxinomiques tout en s'éloignant pour

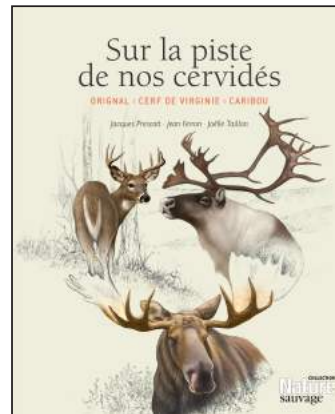
l'opossum, les taupes et musaraignes ainsi que les carnivores. De même, ils adoptent habituellement les noms français de la liste des vertébrés du Québec du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, tout en proposant d'autres noms à l'occasion. Pour chaque ordre, le guide compte quelques pages dans lesquelles les auteurs le caractérisent. Par la suite, nous trouvons une description de chaque espèce comptant 2 cartes de répartition, des photos et un bref texte portant sur la répartition, les mensurations, le poids, les caractères distinctifs, l'habitat, le gîte, la reproduction, le régime alimentaire, le comportement social, la longévité, les prédateurs, le statut et des notes. Le livre se termine par de brefs renseignements sur des espèces non traitées, le statut

des espèces, les empreintes, les pistes dans la neige, les excréments, un glossaire et une bibliographie. Bien que cette nouvelle version ne fasse pas allusion à certaines controverses récentes concernant la répartition du cougar, voire celle du carcajou, cet ouvrage constitue une source d'information très riche sur la faune mammifère du Québec et de l'est du Canada, un livre utile autant aux amateurs qu'aux professionnels des milieux naturels.

Prescott, Jacques et Pierre Richard, 2013, *Mammifères du Québec et de l'est du Canada, 3<sup>e</sup> édition*. Éditions Michel Quintin, Waterloo, 480 pages. (Prix régulier = 39,95 \$; membres de la Société = 32,75 \$\*)

Source: Michel Crête

### Sur la piste de nos cervidés: orignal, cerf, caribou



Orinha Média a eu l'idée de produire un livre portant sur les 3 cervidés rencontrés au Québec et en a confié la rédaction à autant de biologistes: Jacques Prescott (orignal), Jean Ferron (cerf de Virginie) et Joëlle Taillon (caribou). Le premier auteur œuvre dans le domaine de la biodiversité et du développement durable, le second a été professeur et chercheur universitaire en mammalogie alors que Mme Taillon a récemment

terminé un doctorat sur les caribous migrateurs. Les 3 parties du livre suivent le même plan: un chapitre brossant le portrait de l'espèce, un second sur la répartition, l'habitat et le domaine vital, un troisième sur les comportements et un dernier sur la conservation. Les auteurs s'appuient sur une littérature scientifique abondante pour résumer les connaissances actuelles des 3 espèces. Des photos et des croquis illustrent abondamment le livre. Cet ouvrage, destiné aux amateurs de la nature, aux étudiants en sciences naturelles, aux gestionnaires de la faune et aux chasseurs, constitue une source de renseignements unique où chacun y trouvera son compte.

Prescott, Jacques, Jean Ferron et Joëlle Taillon, 2013, *Sur la piste de nos cervidés: orignal, cerf de Virginie, caribou*. Orinha Média, La Macaza, 264 pages. (Prix régulier = 34,95 \$; membres de la Société = 28,65 \$\*)

Source: Michel Crête

\* La librairie L'Horti-centre du Québec offre aux membres de la Société Provancher un rabais de 18% pour ce livre:

HORTI-CENTRE DU QUÉBEC INC. Division CLUB DE LIVRES HORTIGRAF

2020, rue Jules-Verne, Québec (Québec) G2G 2R2

Tél.: 418 872-0869, poste 117; téléc.: 418 872-7428; courriel: horti-centre@floraliesjouvence.ca

## Vie de la Société

### Paul Bourque, 1927-2013



C'est avec beaucoup de regret que nous avons appris le décès de M. Paul Bourque survenu le 10 juillet 2013. Avec son épouse, Mme Thérèse Gadbois, il avait accepté de prendre en charge l'édition de la revue *Le Naturaliste canadien* en 1997, tâche qu'il poursuivit jusqu'en 2010. Il s'était également vu confier l'édition du magnifique livre sur l'île aux Basques, publié en 1997, pour souligner

le soixante-quinzième anniversaire de la Société Provancher. Nous gardons le souvenir d'un homme généreux, disponible, qui ne ménageait pas ses conseils avisés, qui était très affable et avec qui il était toujours agréable de discuter. Nous le remercions pour le temps consacré à la Société. À son épouse, Thérèse Gadbois, et à ses enfants, nous offrons nos plus sincères condoléances.

Source : La Société Provancher



Jacques Montpetit accompagné du caméraman Simon Turcotte lors du tournage d'une émission de la série « Quelle histoire » à Radio-Canada Rimouski.

### Silence, on tourne !

Durant la saison estivale 2013, l'île aux Basques a fait l'objet de 3 reportages fort intéressants et qui contribuent au rayonnement de ce joyau de notre patrimoine.

M. Normand Latour, journaliste à Radio-Canada Outaouais, a préparé un reportage pour l'émission *BLEU* qui a été diffusée le 23 août 2013. Le reportage portait sur la chasse à la baleine dans l'estuaire du Saint-Laurent au 16<sup>e</sup> siècle et sur l'occupation de l'île aux Basques où était transformée la graisse des baleines. Le reportage offrait aussi une belle vitrine au Parc de l'Aventure Basque en Amérique du Nord, situé à Trois-Pistoles, et qui présente une exposition de grande qualité sur la chasse à la baleine par les Basques.

Par ailleurs, M. Jacques Montpetit de Radio-Canada Rimouski était à l'île aux Basques à la mi-août pour prendre quelques séquences filmées destinées à l'émission *Quelle histoire!* du 9 septembre 2013. Intitulée *Des secrets sous bonne garde*, le reportage a mis l'accent sur la présence dans la région du Bas-Saint-Laurent d'un lieu encore méconnu où les trésors archéologiques sont mis en évidence lors des visites organisées par le gardien de l'île, monsieur Jean-Pierre-Rioux.

Enfin, Murielle Descarpenteries, journaliste belge, a réalisé un reportage sur le Saint-Laurent et ses îles dans le cadre d'une future émission télévisée en Europe. Elle parcourait le fleuve à la voile et devrait offrir des images qui sauraient capter l'intérêt des téléspectateurs. Nous espérons que son reportage sera également diffusé au Canada.

Pour tous ces reportages, il faut souligner la grande collaboration de Jean-Pierre Rioux. Avec aisance, M. Rioux a fait la promotion de l'île aux Basques et du fleuve ainsi que de la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada. Nous le remercions pour le rayonnement que ces reportages procurent.

Source : Élisabeth Bossert



De gauche à droite : Pierre-Martin Marotte, responsable du marais pour la Société Provancher, Étienne B. Kirouac, étudiant, et Virginie Benjamin, directrice de la Maison Léon-Provancher.

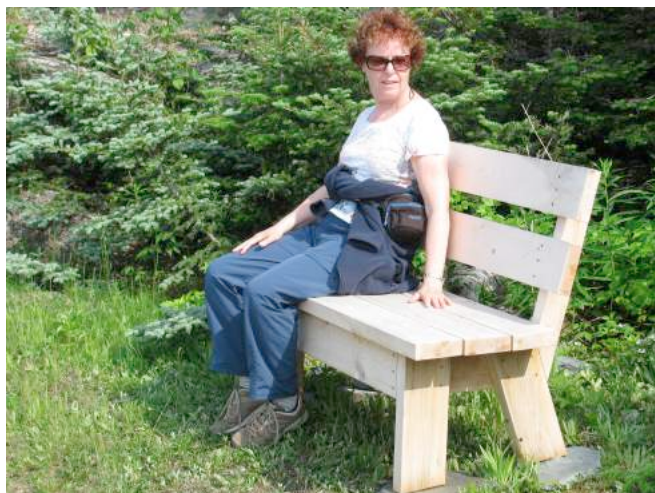
### Animation au marais Léon-Provancher

Bénéficiant d'une subvention de Services Canada, la Société Provancher a pu embaucher un étudiant pour travailler au marais Léon-Provancher au cours de l'été 2013. Il s'agissait d'un projet conjoint avec un de nos partenaires : la Maison Léon-Provancher. Cet étudiant, M. Étienne B. Kirouac, a eu l'occasion de travailler comme guide animateur de la mi-juin à la fin-juillet. Son travail se déroulait sur 4 jours. Pour la Société Provancher, il consistait à accueillir les visiteurs les fins de semaine au marais Léon-Provancher. Les 2 autres jours, il œuvrait à la Maison Léon-Provancher, à Cap-Rouge, en collaboration avec leurs animateurs scientifiques où il participait à l'élaboration de programmes éducatifs adaptés au marais. Ces derniers pourront être repris par la Maison Léon-Provancher lors de leurs futures sorties d'animation.

La présence du guide sur le site, en plus d'une surveillance, a permis de mieux faire connaître la Société Provancher ainsi que la Maison Léon-Provancher, dont les vocables sont régulièrement confondus et dont la mission est différente. Nous avons pu aussi profiter de l'occasion pour recueillir plus d'information sur le type de clientèle et sur l'affluence à ces périodes de l'été.

Nous remercions la Maison Léon-Provancher pour sa précieuse collaboration dans la réalisation de ce projet.

Source : Pierre-Martin Marotte, Société Provancher



Banc installé à l'anse à la Canistre, île aux Basques.

### Banc... à la mémoire de

Trois bancs rustiques fabriqués par un des membres de notre conseil d'administration ont été installés sur nos territoires, 1 au marais Léon-Provancher, à Neuville, et les 2 autres à l'île aux Basques. Un bois résistant naturellement à la pourriture a été employé pour leur fabrication. Il s'agit du thuya occidental, communément appelé cèdre de l'est. Notons que le bois nous a été fourni gracieusement par un membre de la région de Portneuf.

Un des bancs installés à l'île aux Basques est dédié à la mémoire de monsieur Raynald Lortie (1948-2005), photographe amateur, pour qui l'île aux Basques constituait un milieu de prédilection pour la pratique de la photographie. Lors de son décès en 2005, son épouse nous avait remis un don *in memoriam* pour l'île aux Basques. Le banc qui lui est dédié a été installé sur la rive nord-est de l'île, à l'anse à la Canistre.

Les 2 autres bancs cherchent preneur. Pour un don au montant de 500 \$, une plaque au nom du donateur sera apposée sur un banc. Il s'agira pour le donateur d'une belle contribution au bien-être des marcheurs qui parcourent nos territoires.

Source : Michel Lepage, Société Provancher

### Contrôle du roseau commun au marais Léon-Provancher

Le marais Léon-Provancher, comme bien d'autres milieux naturels du Québec méridional, se voit envahi depuis peu par le roseau commun (*Phragmites australis*). Cette situation est préoccupante si l'on veut maintenir la biodiversité naturelle du marais et conserver l'habitat pour la reproduction de la sauvagine. Au cours de l'été 2013, la Société Provancher a profité de l'occasion offerte par un promoteur et le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, dans le cadre d'un projet de compensation pour une perte d'habitat, afin d'amorcer le contrôle de cette espèce.

Il existe peu de méthodes efficaces et économiques de contrôler le roseau commun. Aménatech Inc., une division du Groupe SM International, a été mandatée par l'entrepreneur pour réaliser des travaux de compensation après consultation d'un groupe d'experts universitaires et d'une revue des méthodes existantes. Dans quelques secteurs, les solutions retenues ont été la coupe des plantes avant leur floraison et la mise en place de toiles opaques pour empêcher la croissance des tiges et épuiser leur système racinaire. Dans d'autres secteurs, la plantation de saules a été favorisée pour faire concurrence au roseau commun. Aménatech Inc. a exécuté une grande part des travaux avec l'aide d'un groupe de la Maison des jeunes de Neuville (14 à 16 ans). Le projet est une réalisation du Groupe SMI et a été financé par Lotissement Métropolitain Inc.

Ces travaux ne sont que l'amorce des interventions qui seront nécessaires pour limiter l'expansion de cette plante. Il reste encore des secteurs à traiter et un suivi devra être fait sur les parcelles qui ont été traitées en 2013. La Société Provancher devra donc prendre elle-même le relais pour contenir cet envahisseur. Nous sommes à monter une équipe de bénévoles dont les tâches seront de vérifier périodiquement l'état des bâches installées en 2013 et de les réparer au besoin, d'observer l'état des plantations de saules, de couper régulièrement les tiges de certaines talles afin d'affaiblir les plants et de rapporter toute nouvelle talle en voie de s'implanter. Si vous êtes intéressés à vous impliquer dans une équipe dynamique et passionnée, communiquez avec la Société Provancher (société.provancher@gmail.com).

Source : Pierre-Martin Marotte et Michel Lepage



Coupe des tiges et transport à un lieu d'enfouissement sécuritaire.

## Saviez-vous que...

### Prix « Éveil à la science » décerné à M. Robert Loisélle

Lors de la soirée du 30<sup>e</sup> Mérite scientifique régional tenu le 30 octobre dernier, le Conseil du loisir scientifique (CLS) du Saguenay–Lac-Saint-Jean a reconnu l’engagement exceptionnel de M. Robert Loisélle pour son travail comme ambassadeur du programme « Les innovateurs à l’école ». Robert Loisélle est un bénévole infatigable qui œuvre à la promotion des carrières scientifiques dans le cadre de différentes activités.

Depuis près de 20 ans, il sillonne les écoles du Saguenay–Lac-Saint-Jean pour rencontrer les élèves, petits et grands, avec son tiroir rempli de spécimens d’insectes. C’est avec un plaisir contagieux qu’il partage avec eux ses nombreuses anecdotes sur le monde fascinant des insectes. Son implication dans divers projets régionaux à caractère scientifique fait de lui une ressource inestimable pour le CLS et pour l’ensemble de la communauté.



Le tiroir aux insectes.

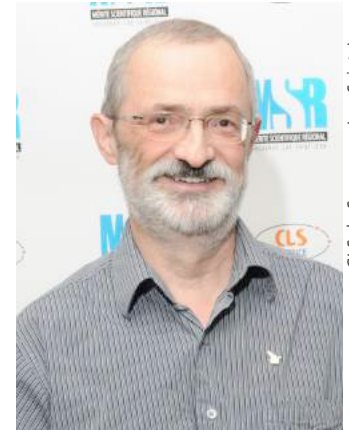
Robert Loisélle

Biologiste de formation, Robert Loisélle est arrivé à Chicoutimi en 1979 pour devenir assistant de recherche au Laboratoire de biosystématique du D<sup>r</sup> André Francoeur à l’Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Aujourd’hui, il est responsable des laboratoires de biologie et chargé de cours à l’UQAC. Il a été membre fondateur du cercle des entomologistes amateurs de la Sagamie en 1979, du CLS en 1980 et de la corporation Entomofaune du Québec en

1986. Pour plusieurs, Robert Loisélle est, avant tout, LE juge en chef de l’Expo-sciences au Saguenay–Lac-Saint-Jean puisqu’il a occupé ce poste pendant 7 ans, sans compter ses 25 années comme juge. En 2006, il a même été responsable de toute l’organisation du jugement pour l’Expo-sciences pancanadienne qui se déroulait au Saguenay–Lac-Saint-Jean. Il a alors vu au recrutement de 350 juges bilingues en provenance de divers champs scientifiques.

Robert Loisélle n’en est pas à sa première reconnaissance puisqu’en 2009, il recevait le prix Dollard-Morin, une prestigieuse reconnaissance qui rend hommage aux gens pour leur bénévolat en loisir et en sport. En 2010, il fut le lauréat du prix Pierre-Dansereau, décerné annuellement par l’Association des biologistes du Québec afin de souligner la contribution exceptionnelle d’un biologiste. Nous sommes fiers d’offrir nos plus sincères félicitations à ce bénévole d’exception.

Source : Christian Hébert



Le lauréat, M. Robert Loisélle.

CLS du Saguenay–Lac-Saint-Jean

**Par leur soutien financier,  
le ministère du Développement durable,  
de l’Environnement et des Parcs du Québec,  
les parrains et les amis du *Naturaliste canadien*,  
nos commanditaires et  
les généreux bienfaiteurs de la Société Provancher  
ont facilité la réalisation de ce numéro du *Naturaliste canadien*.**

**Qu’ils en soient tous remerciés.**

MESSAGE DE LA FONDATION DE LA FAUNE DU QUÉBEC



© DANIEL DUPONT

## Conserver les milieux humides, c'est protéger la biodiversité



© DENIS BAUCHER

Chaque année, la sarcelle à ailes bleues entreprend sa longue migration vers les milieux humides du Québec. Elle s'y reproduit et y élève ses petits avant de retourner vers les contrées méridionales. Abondantes à l'échelle du continent, les populations de sarcelles à ailes bleues ont amorcé un lent déclin vers la fin des années 1970. La perte et la dégradation de leur habitat de nidification expliquent notamment cette situation.

Comme la sarcelle, plusieurs espèces d'oiseaux migrateurs, de mammifères, d'amphibiens et de poissons utilisent les milieux humides: tous y trouvent un habitat riche et essentiel à leur survie.

Pourtant, à l'heure actuelle, seulement 10% du territoire québécois est occupé par les milieux humides. Dans les régions du sud du Québec, l'intense développement agricole, industriel et urbain continue de provoquer la dégradation, voire la disparition de ces milieux.

### DES BIENFAITS AUSSI POUR LES HUMAINS

En plus de répondre à tous les besoins d'une multitude d'espèces, les terres humides rendent de nombreux services aux humains. Par exemple, elles agissent comme une éponge en absorbant la pluie et la neige au moment des crues. Ensuite, elles laissent graduellement l'eau s'évaporer pendant les saisons plus sèches, réduisant ainsi les risques d'inondation et tempérant l'effet des sécheresses.

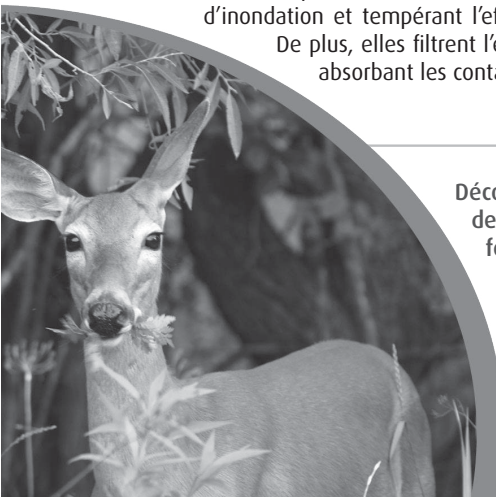
De plus, elles filtrent l'eau et la purifient en absorbant les contaminants.

### LA FONDATION À L'ŒUVRE POUR SAUVEGARDER LES MILIEUX HUMIDES

En 2012-2013, la Fondation de la faune a offert son soutien financier à une trentaine de projets touchant 1 475 hectares de milieux humides. Qu'il s'agisse d'acquérir des terrains pour les protéger à perpétuité, de produire des plans de conservation ou de réaliser des aménagements d'herbiers aquatiques, la Fondation appuie les initiatives des organismes locaux qui agissent pour améliorer des milieux naturels essentiels à la faune et à la biodiversité.



© ANAIS BOUTIN



Découvrez des exemples de projets de conservation et des histoires de migration sur notre site Internet: [fondationdelafaune.qc.ca/aide/campagne/](http://fondationdelafaune.qc.ca/aide/campagne/)

**PARTICIPEZ VOUS AUSSI AU MOUVEMENT FAUNIQUE EN FAISANT UN DON POUR LA SAUVEGARDE DES MILIEUX HUMIDES!**





**LA SOCIÉTÉ  
PROVANCHER  
D'HISTOIRE  
NATURELLE  
DU CANADA**

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, créée en 1919, est un organisme sans but lucratif qui a pour objet de regrouper des personnes intéressées aux sciences naturelles et à la sauvegarde de l'environnement.

Contribuez directement à la conservation et à la mise en valeur des propriétés de la Société Provancher :

- ☒ l'île aux Basques : située en face de la ville de Trois-Pistoles. Refuge d'oiseaux migrateurs et lieu historique national du Canada désigné en 2001 ;
- ☒ l'île La Razade d'en Haut : située en front de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges de Trois-Pistoles. Refuge d'oiseaux et site historique ;
- ☒ l'île La Razade d'en Bas : située dans la municipalité de Saint-Simon-de-Rimouski. Refuge d'oiseaux ;

**Note :** Le refuge d'oiseaux migrateurs de l'île aux Basques et de l'archipel des Razades couvre une zone de protection de 933 ha, comprenant la partie terrestre et la partie maritime.

(Source : Service canadien de la faune)

- ☒ le site historique Napoléon-Alexandre-Comeau, à Godbout, sur la Côte-Nord ;
- ☒ le territoire du marais Léon-Provancher : 125 ha, un site récréo-éducatif voué à la conservation et situé à Neuville, acquis le 3 avril 1996 ; et
- ☒ l'île Dumais et le rocher aux Phoques, 15,9 ha (région de Kamouraska) ainsi que les territoires de Kamouraska (32 ha) dont la Société Provancher est la gestionnaire depuis le 25 octobre 2000, agissant à titre de mandataire de la Fondation de la faune du Québec.

En devenant membre de la Société Provancher, vous recevrez *Le Naturaliste canadien*, deux fois par année.

La revue *Le Naturaliste canadien* a été fondée en 1868 par Léon Provancher. Elle est la plus ancienne revue scientifique de langue française au Canada.

Vous y trouverez des articles sur la faune et la flore ; la conservation des espèces et les problèmes environnementaux ; le fleuve Saint-Laurent et le bassin qu'il dessert ; les parcs du Québec et du Canada ; l'ornithologie, la botanique, l'entomologie ; les sciences de la mer et les activités de la Société Provancher ainsi que sur les autres organismes de conservation au Québec.

## FORMULAIRE D'ADHÉSION

Année : \_\_\_\_\_

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_ App. : \_\_\_\_\_

Ville : \_\_\_\_\_ Code postal : \_\_\_\_\_  
prov.

Téléphone : rés. : ( ) \_\_\_\_\_ bur. : ( ) \_\_\_\_\_

Activité professionnelle : \_\_\_\_\_ Courriel : \_\_\_\_\_

**Cotisation :** Don : \$ [ ] Carte familiale : 35 \$ [ ]  
Membre individuel : 30 \$ [ ] Membre corporatif : 70 \$ [ ]

Signature : \_\_\_\_\_  
*Veuillez rédiger votre chèque ou mandat à l'ordre de la Société Provancher et le faire parvenir à l'adresse indiquée.*

Note : Un reçu pour fins d'impôt est émis pour tous les dons de dix dollars et plus.

Société Provancher  
1400, route de l'Aéroport  
Québec (Québec) G2G 1G6

# Pour vos randonnées : deux territoires à découvrir...

## Le marais Léon-Provancher

Le territoire du marais Léon-Provancher, situé à Neuville, est doté d'un réseau de 5 km de sentiers. C'est un milieu idéal pour la randonnée, la photo de nature et l'initiation des enfants à la découverte des plantes et des animaux.

Grâce au travail de nombreux bénévoles, le territoire est accessible toute l'année, gratuitement.

Pour de plus amples renseignements, consultez le site Internet de la Société Provancher :

[www.provancher.qc.ca](http://www.provancher.qc.ca)



## L'île aux Basques

L'île aux Basques, située au large de Trois-Pistoles, représente une destination de choix pour des visites guidées ou pour de courts séjours en chalet.

Les visites guidées durent 3 heures et sont offertes de juin à septembre. Les personnes intéressées doivent réserver auprès du gardien de l'île aux Basques, Jean-Pierre Rioux, au numéro de téléphone 418 851-1202 à Trois-Pistoles.



La location de chalets est offerte aux membres de la Société Provancher pour des séjours allant d'une à sept nuitées. Les modalités de réservation, le tableau des disponibilités et la grille tarifaire sont disponibles sur le site Internet de la Société Provancher :

[www.provancher.qc.ca](http://www.provancher.qc.ca)



Benjamin LeLong

Propagation du roseau commun. p. 18



Étienne Cormier, GENIVAR, inc.

Passage migratoire du pont-seuil du lac du Bombardier, Nunavik, p. 62



Julie M. Munger

Échange d'eau entre tourbière et aquifère, p. 4



Caroline Piché

L'anax précoce (*Anax junius*): ponte en tandem, p. 21

CONVENTION DE LA POSTE-PUBLICATION NO 40999003  
 RETOURNER TOUTE CORRESPONDANCE NE POUVANT ÊTRE  
 LIVRÉE AU CANADA À :  
 LA SOCIÉTÉ PROUVANCHER D'HISTOIRE NATURELLE DU CANADA  
 1400, ROUTE DE L'AÉROPORT  
 QUÉBEC QC G2G 1G6