

le naturaliste canadien

Volume 142, numéro 3
Automne 2018

SOCIÉTÉ PROVANCHER

Revue de diffusion des connaissances en sciences naturelles et en environnement



Au sommaire

- **150 ANS DU NATURALISTE CANADIEN: SUR LES TRACES DE LÉON PROVANCHER**
- **VÉGÉTATION D'UNE TOURBIÈRE ET FLORE COMESTIBLE EN FORÊT BORÉALE**
- **PROGRESSION ET CONTRÔLE DE PLANTES EXOTIQUES ENVAHISSANTES**
- **CONSERVATION DU CIEL NOCTURNE ET DE L'HABITAT DU POISSON**
- **UN CHAMPIGNON PATHOGÈNE DU CHÊNE ROUGE ET DU FRÊNE ROUGE**

LE MOT DE LA RÉDACTION

Joyeux 150^e anniversaire au *Naturaliste canadien*! 3
Denise Tousignant

GENS D'ACTION

**Marie-José Auclair: une femme de cœur
et de défis!** 4
Louise Gratton et Mélanie Lelièvre

150 ANS DU NATURALISTE CANADIEN – HISTOIRE

**Le *Naturaliste canadien* et l'essor des sciences au
Canada à l'époque victorienne** 5
En fondant *Le Naturaliste canadien*, l'abbé Léon Provancher a été un pionnier du mouvement scientifique pancanadien dans le dernier tiers du XIX^e siècle. Cet article situe la création de la revue dans le contexte général du développement des sciences naturelles à l'époque victorienne.
Pierre-Luc Beauchamp et Yves Gingras

150 ANS DU NATURALISTE CANADIEN – ENTOMOLOGIE

**Sur les traces de l'épithèque de Provancher
au mont Yamaska (Odonata: Corduliidæ:
Neurocordulia yamaskanensis)** 10
En 1875, dans un cours d'eau sinueux en Montérégie, l'abbé Léon Provancher découvre *Neurocordulia yamaskanensis*, une libellule discrète, aux mœurs strictement crépusculaires. En 2017, les auteurs de cet article retracent les pas de l'entomologiste et retournent sur le même site, qui n'avait pas été exploré depuis sur le plan odonatologique, afin de vérifier si l'épithèque de Provancher y est toujours présente.
Alain Mochon et Michel Savard

BOTANIQUE

**La tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy:
quatre décennies de changements floristiques** 22
En comparant des inventaires réalisés en 1978 et en 2015 dans la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy, les auteurs ont montré des changements majeurs dans le cortège floristique du site. La tourbière est de plus en plus boisée, et les espèces tourbicoles y sont en déclin. Des actions pouvant être prise pour assurer la protection de la tourbière sont discutées.
*Florence Blanchard, Stéphanie Pellerin
et Monique Poulin*

**Gestion intégrée du roseau commun
à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher
(Neuveville, Québec)** 31

Le roseau commun exotique s'est propagé graduellement au cours des 20 dernières années dans la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher. Cinq méthodes ont été comparées pour lutter contre cette espèce envahissante. Globalement, ces interventions ont permis de réduire la superficie totale occupée par les clones de roseau de 7579 m² en 2013 à 6132 m² en 2017. Les plus efficaces sont l'excavation mécanique avec ensemencement, l'arrachage manuel et le bâchage.
François Messier et Réhaume Courtois

**Reconstitution historique de l'invasion du Québec
par le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*)** 40

Le myriophylle à épis est une plante vasculaire exotique envahissante qui colonise les lacs et les rivières. Son aire de répartition s'est beaucoup étendue depuis son introduction au Québec à la fin des années 1950. L'espèce s'est d'abord disséminée le long du fleuve Saint-Laurent, puis s'est propagée à l'intérieur des terres à partir des années 1970. Les régions avec le plus de mentions sont celles de la Montérégie, des Laurentides, de l'Estrie et de l'Outaouais.
Romy Jacob-Racine et Claude Lavoie

**Approche méthodologique pour l'évaluation
de l'utilité effective de la flore comestible
de la forêt boréale en situation de survie** 47

La forêt boréale est un environnement isolé et parfois difficile. Des situations critiques peuvent occasionnellement conduire des personnes à vivre un séjour prolongé en état de grande précarité, sans autres moyens de subsistance que les ressources naturelles disponibles. L'auteur propose une méthode pour quantifier le potentiel d'utilité effective d'un groupe d'espèces végétales pouvant servir à l'alimentation de fortune et ainsi contribuer au maintien des fonctions vitales des victimes en situation de survie.
Manu Tranquard

MYCOLOGIE

**Regard nouveau sur la biologie du polypore
ponctué: *Fomitiporia punctata* (P. Karsten) Murrill** 59

Le polypore ponctué est parfois responsable d'un chancre sur le chêne rouge et le frêne rouge. Un inventaire sur deux sites, à Québec et à Beauceville, a révélé que 11,6 % à 52,6 % des arbres étaient infectés, en particulier les codominants. Des chancres fusiformes de 0,35 m² à 0,61 m² révèlent une carie avancée du cœur et de l'aubier. Les effets de la maladie sont à craindre surtout dans les frênaies riveraines.
Bruno Boulet et Guy Bussièrès

MILIEUX AQUATIQUES

Caractérisation et protection de l'habitat du poisson dans la rivière Beaudette (Québec) 73

La rivière Beaudette est un lieu de fraie pour diverses espèces de poissons et un sanctuaire de pêche important. Toutefois, la qualité de l'habitat est menacée par le lessivage de sédiments provenant des activités agricoles et par la dénaturalisation des berges. Les auteures ont caractérisé l'habitat du poisson en évaluant la qualité des bandes riveraines et celle de l'eau, en recensant les marques d'érosion des rives et en réalisant des inventaires ichtyologiques.

Emily Sinave et Amélie Grégoire Taillefer

CONSERVATION

Conservation du ciel nocturne: surveillance de l'éclairage extérieur et de la pollution lumineuse au parc national et à la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic 88

La croissance généralisée de la pollution lumineuse, résultat de l'utilisation de dispositifs d'éclairage inadéquats, menace notre ciel étoilé. Les auteurs ont mesuré cette pollution sur le territoire de la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic (RICEMM), créée en 2007 afin de protéger la qualité des observations astronomiques et de la recherche à l'observatoire du mont Mégantic, ainsi que pour conserver les paysages étoilés exceptionnels du site.

*Rémi Boucher, Sarah Knefati
et Camille-Antoine Ouimet*

LES LIVRES

95

VIE DE LA SOCIÉTÉ

97

SAVIEZ-VOUS QUE...

100

En page couverture: Vue de la face nord du mont Yamaska, secteur où Léon Provancher a découvert la libellule *Neurocordulia yamaskanensis* en 1875. En avant-plan, on voit le cours lent et sinueux de la rivière Noire, large d'environ 60 m.

Photo: Alain Mochon.

**Par leur soutien financier,
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.

La Société Provancher remercie ses généreux bienfaiteurs Année 2018

Grands partenaires (500 \$ et plus)

Roger Bélanger • Yves Lacasse • J. C. Raymond Rioux • Marcel Turgeon

Amis (250 \$ à 499 \$)

Donateur Anonyme • Jean Bricault • Yvan Charpentier • Hélène Gagné • Jean Tremblay • ASGRQ

Bienfaiteurs (1 \$ à 249 \$)

Marguerite Ahern Normandeau • Daniel Auger • Annabelle Avery • Line Babin • Daniel Banville • Simon-Pierre Barrette • Cyrille Barrette • Serge Barrière • Francine Barry • Francine Beaulieu • Michelle Bédard • Yvan Bédard • Gilles Bélanger • Christine Bélanger • Noémie Bélanger • Marie Bellefeuille • Michel Belles-Isles • Eric Belzile • Suzanne Benoit • Louis Bernatchez • Marie-Andrée Bernier • Annie Bérubé • Diane Bérubé • Martin Bilodeau • Damien Blais • Dereck Blouin-Perry • Élisabeth Bossert • Yvon Bouchard • Francis Boudreau • Jean Boulva • Jean-Denis Brisson • Pierre Campagna • Michel Cantin • Solange Cantin • Léonie Carignan-Guillemette • François Caron • Benoît Caron • Martin Castonguay • Monique Charest • Richard Chartier • Réjean Chayer • Guy Chouinard • André Clermont • Conrad Cloutier • Bernard Colinet • Christian Corbeil • Lina Corriveau • Jean-Marc Cossette • Vivianne Coudé • Réhaume Courtois • Pierre Couture • Michel Crête • Robert Croteau • Michel Dagenais • Philippe Dancause • Natalie D'astous • Pierre De Rainville • Conrad Delisle • Andréanne Demers • Jean Dery • Anne Déry • Louise Desautels • Renée Desautels • Josianne Desloges • Micheline Desmartis • Marc Doré • Bruno Drolet • Roger Duchesneau • Jacqueline Dumais • Gilbert Dumas • Francine Dumont • Luc Durocher • Jean-Denis Dutil • Louise Falcon • Madeleine Fontaine • Louise Fortin • J. André Fortin • Gilles Gaboury • François Gagné • Chantal Gagné • Raynald Gagnon • Nicole Gagnon • Pierre Gascon • Lise Gauvin • Denis Germain • Denis Gervais • Jean-Roch Giguère • Claudette Girard • Michel Giroux • Paul Gobeil • Guy Gosselin • Marie Grenon • Suzanne Grondin • Jean Hamann • François Hamel • Éric Yves Harvey • Jean Huot • Michel Huot • Mélanie Jalbert • Richard Jones • Bert Klein • Marianne Kugler • Johane La Rochelle • Maud Laberge • Diane Laberge • Michel Laflamme • Marcel Lafleur • Anne-Marie Lafond • André Laforce • Judith Laforest • Langis Lagacé • Pierre Laliberté • Suzanne Lamy • Gaétan Langlois • Cécile Laperrière • Monique Lapointe • Pierre Laporte • Michel Laramée • Maude Larsen • Héloïse Le Goff • Pierre Leduc • Jacques Lemieux • Michel Lepage • Daniel Lepage • Hélène Lévesque • Alain Lizotte • Marc Ludvik • Luc Major • Pierre Marcoux • Sophie Martel • Guy Massicotte • Donna Mcewen • Marthe B. Mercier • Natalie Michaud • Laurence Molinas • Kevin Moore • Paule Morin • Pierre Morisset • Serge Olivier • Réginald Ouellet • Denis Ouellet • Jocelyne Ouellet • Denis Paquette • Serge Parent • Robert Patenaude • Mario Picard • Lise Pilote • Jean Piuzé • Berthier Plante • François Potvin • Yvan Pouliot • Gilles Racette • Pierre Rainville • Arne Rasmussen • Martine Raymond • Michel Renaud • Claude Rheault • François Richard • Pierre J.H. Richard • Odette Roy • Stéphane Roy • Émilie Saulnier-Talbot • Benoît Sénécal • Claude Simard • Annie Simard • Antoine St-Louis • Marco St-Pierre • François Tellier • Francine Thibault • Denise Thibault • Julie Touchette • Marie Chantale Tremblay • Marie-France Turcotte • Lucie Vézina • Georges Viel • Jacques Villeneuve • Michel Wapler



Société
Provancher

Président

Daniel St-Onge

1^{re} Vice-présidente

Élisabeth Bossert

2^e Vice-président

Jean Tremblay

Secrétaire

Michel Lepage

Trésorier

Daniel St-Onge

Administrateurs

Lucie Aubin
Christine Bélanger
Michel Cantin
Guy Chouinard
Robert Patenaude
Nicole Perreault

le naturaliste
canadien

Bureau de direction

Hugo Cayuela
Bruno Drolet
Jean Hamann
Claude Lavoie
Michel Lepage
Isabelle Simard
Denise Tousignant

Stéphanie Pellerin
Isabelle Simard
Junior Tremblay

Révision linguistique et technique

Daniel Banville
Luc Bélanger
Agathe Cimon
Doris Cooper
Andrew Coughlan
Jean-Sébastien Michaud
Pierre Périnet

Équipe éditoriale

Denise Tousignant,
rédaCTRICE en chef
Yan Boucher
François Brassard
Marc-Antoine Couillard
Mathieu Cusson
Christian Hébert
Patrick Lajeunesse
Marc Mazerolle

Correction des épreuves

Pierre Périnet
Camille Rousseau

Impression et reliure

Marquis Imprimeur inc.

COMMUNICATIONS
science
impact



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.

Droits d'auteur et droits de reproduction
Toutes les demandes de reproduction doivent être acheminées à : Copibec (reproduction papier)
514 288-1664 – 1 800 717-2022
licences@copibec.qc.ca

Dépôt légal 3^e trimestre 2018

Bibliothèque nationale du Québec

© La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada 2018

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, 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 :

Société Provancher

c.p. 1335, Portneuf QC G0A 2Y0

Téléphone : 418 554-8636

Courriel : societeprovancher@provancher.org

Site Web : www.provancher.org



Société
Provancher

Joyeux 150^e anniversaire au *Naturaliste canadien* !

En 1868, l'abbé Léon Provancher publiait le premier numéro de la revue *Le Naturaliste canadien*. Pouvait-il entrevoir qu'en 2018, 150 ans plus tard, celle-ci serait devenue l'une des plus anciennes revues scientifiques de langue française au Canada et qu'elle rayonnerait dans la francophonie et le monde entier, grâce à une diffusion en ligne qui s'ajouterait à la version papier ?

Le présent numéro vous offre plusieurs regards sur l'époque où *Le Naturaliste canadien* a vu le jour. D'abord, Pierre-Luc Beauchamp et Yves Gingras décrivent l'essor des sciences au Canada à l'époque victorienne. Ensuite, Alain Mochon et Michel Savard retournent aux sources et retracent les pas de l'abbé Provancher au mont Yamaska, pour y retrouver une espèce de libellule découverte par Provancher il y a plus de 140 ans. Enfin, l'un des textes de la rubrique Vie de la Société décrit les trésors des collections Provancher conservées à l'Université Laval, qui servent encore aujourd'hui de référence à de nombreux chercheurs. Hier comme aujourd'hui, les observations sur le terrain, la collecte de spécimens et l'analyse méticuleuse des données constituent la base de l'acquisition de nouvelles connaissances.

Les autres articles de ce numéro reflètent bien la diversité actuelle des sujets abordés par *Le Naturaliste canadien* : évolution de la végétation d'une tourbière, progression et contrôle de deux plantes exotiques envahissantes, utilisation de la flore boréale en situation de survie en forêt, biologie d'un champignon pathogène des arbres, caractérisation de l'habitat des poissons dans une rivière et lutte contre la pollution lumineuse. Les auteurs, qu'ils écrivent à titre personnel ou qu'ils proviennent des universités, des ministères, de sociétés d'État ou d'organismes sans but lucratif, sont des scientifiques passionnés qui veulent partager le fruit de leurs découvertes.

L'équipe du *Naturaliste canadien* est composée en grande majorité de bénévoles compétents qui investissent généreusement leur temps et leur expertise dans la production de chacun des numéros : rédacteurs adjoints, réviseurs scientifiques, membres du bureau de direction, réviseurs techniques et linguistiques, correcteurs d'épreuves, et j'en passe. Ce travail s'inscrit dans la mission de la Société Provancher, tout comme les autres activités décrites dans la rubrique Vie de la Société. C'est aussi le cas du certificat Gens d'action décerné annuellement par la Société. La page suivante présente la lauréate 2018, Mme Marie-José Auclair, de l'organisme Corridor appalachien.

Je suis fière de la contribution du *Naturaliste canadien* au rayonnement des connaissances en sciences naturelles au Québec. Souhaitons-lui un joyeux 150^e anniversaire, et encore une belle et longue vie !

Denise Tousignant,
Rédactrice en chef

Marie-José Auclair: une femme de cœur et de défis !

Louise Gratton et Mélanie Lelièvre

Bien connue pour son engagement sans faille dans le milieu de la conservation, Marie-José Auclair est la lauréate, pour l'année 2018, du certificat Gens d'action de la Société Provancher. Cette reconnaissance souligne la contribution significative de personnes impliquées dans des actions de protection des milieux naturels, la réalisation d'activités éducatives ou la diffusion de connaissances. Portait d'une femme d'exception qui soulève des montagnes pour mieux les protéger.

La petite histoire d'une grande dame

Marie-José Auclair œuvre dans le milieu de l'environnement depuis plus de 35 ans. Membre du conseil d'administration de Corridor appalachien depuis 2003, elle en assure la présidence depuis plus de 10 ans. Avant de s'engager au sein de cet organisme, Marie-José a œuvré pendant plus de 20 ans comme conseillère en évaluation environnementale à Environnement Canada. Elle a aussi dirigé le groupe de travail sur les Zones d'intervention prioritaire et représenté le gouvernement fédéral au sein des comités d'environnement de la Convention de la Baie-James et du Nord québécois. De plus, elle a agi en tant que commissaire au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement du Québec. En tant qu'auteure et reporter, elle a publié plusieurs livres et articles mettant en valeur les principaux attraits naturels, historiques et culturels de diverses régions du Québec. Elle est aussi l'auteure d'une série d'articles spécialisés sur le plein air, l'écotourisme et la biodiversité un peu partout dans le monde.

Le parfait équilibre entre le risque et l'audace

Avec tout ce bagage, il n'est pas étonnant que Marie-José ne prenne aucune décision sans examiner les tenants et aboutissants des projets qui lui sont soumis pour analyse. Rien n'est laissé au hasard : souci du détail, esprit critique et rigueur sont toujours au rendez-vous. Au cours des dernières années, Corridor appalachien a connu un essor considérable, en grande partie grâce à son équipe dynamique et créative. Toutefois, tout ce progrès n'aurait pu se réaliser sans l'ouverture du conseil d'administration de l'organisme. Sous la gouverne d'une présidente prête à s'engager dans des entreprises qui comportent parfois un certain niveau de risque bien évalué



Louise-Michel Major

par Marie-José, les membres du conseil se sentent assurément sur la bonne voie.

Atteindre des sommets

Dans le contexte difficile des coupes budgétaires de nombreuses subventions gouvernementales en 2012 et 2013, Corridor appalachien a pris la pleine mesure de sa fragilité et de la nécessité de diversifier ses sources de revenus. L'idée d'une campagne de financement a été avancée, mais il y avait loin de la coupe aux lèvres. Marie-José a alors lancé son équipe dans une ambitieuse campagne de financement : c'est sans doute l'une de ses plus grandes réalisations au sein de l'organisme. Elle s'y est investie, corps et âme. En peu de temps, elle est devenue une habituée du milieu de la philanthropie, déployant un professionnalisme et une aisance qui ont ouvert bien des portes. La détermination dont elle a fait preuve n'est pas étrangère au fait que cette « globetrotteuse » invétérée et passionnée de plein air ait tiré profit de ses nombreux voyages entrepris parfois à la dure pour accomplir cet exploit. Pour Marie-José, la campagne de financement n'était qu'un nouveau sommet à atteindre. Défi relevé : l'organisme a atteint son objectif au terme de 18 mois en recueillant 1,2 million de dollars en engagements de dons sur 5 ans. Le dévouement hors du commun de Marie-José à cette cause a été indispensable au succès de cette première campagne pour un organisme qui était bien peu connu de la société philanthropique. Marie-José s'est révélée être une véritable « grande dame » de la conservation, un rôle qu'elle incarne naturellement avec grâce et perspicacité, une source crédible auprès des donateurs sollicités.

C'est avec une grande fierté qu'elle entre officiellement dans le cercle inspirant des « Gens d'action ». Elle tient toutefois à faire savoir que cette reconnaissance s'étend à tous les membres de conseil d'administration qui, dans l'ombre, travaillent à la mission de leur organisme. Sans eux, les organismes de conservation n'existeraient tout simplement pas.

Louise Gratton, cofondatrice et administratrice de Corridor appalachien et Mélanie Lelièvre, directrice générale de Corridor appalachien

louisegratton@jeangaudet.ca
melanie.lelievre@corridorappalachien.ca

Le *Naturaliste canadien* et l'essor des sciences au Canada à l'époque victorienne

Pierre-Luc Beauchamp et Yves Gingras

Résumé

Cet article situe la création du *Naturaliste canadien* dans le contexte général du développement des sciences naturelles au XIX^e siècle. On y rappelle la création des premières institutions scientifiques canadiennes (sociétés savantes, universités, revues), pour ensuite s'attarder à la place occupée par l'abbé Léon Provancher et sa revue dans le monde de la science victorienne. En fondant *Le Naturaliste canadien*, Provancher, alliant son sens de l'entreprise à sa passion pour la culture scientifique, a été un pionnier du mouvement scientifique pancanadien dans le dernier tiers du XIX^e siècle.

MOTS CLÉS: édition savante, histoire naturelle, Léon Provancher, revues savantes, science victorienne

Abstract

This article situates the founding of *Le Naturaliste canadien* in the general context of the development of natural sciences in the 19th century. It outlines the creation of the first scientific institutions in Canada (i.e., learned societies, universities and journals), and then focuses on the contributions of Abbé Léon Provancher and his journal to the advancement of science in the Victorian era. In founding *Le Naturaliste canadien*, Provancher combined his business acumen with his passion for scientific culture and became a pioneer of the pan-Canadian scientific movement in the last third of the 19th century.

KEYWORDS: Léon Provancher, natural history, scientific journals, scientific publishing, victorian science

Lorsque paraît *Le Naturaliste canadien* en 1868, seulement une décennie après *L'origine des espèces* de Charles Darwin (1859), la communauté scientifique canadienne est encore en formation. Toutefois, elle est alors au seuil d'un essor qui mènera à la création de nombreuses institutions et publications. Au Québec, comme ailleurs au Canada, même si le développement scientifique en est encore à ses débuts, des hommes passionnés par les sciences naturelles cherchent à échanger et à diffuser leur savoir. L'abbé Léon Provancher est l'un des premiers Canadiens à prendre en main ce besoin d'inscrire de façon concrète le travail des naturalistes canadiens-français dans la production scientifique. En ce sens, la création du *Naturaliste canadien*, il y a 150 ans, est l'un des gestes fondateurs de la communauté scientifique canadienne. Profitant de l'engouement pour les sciences naturelles au XIX^e siècle et de l'esprit entrepreneurial de Provancher, *Le Naturaliste canadien* a ouvert un espace de publication scientifique pour les francophones et occupe ainsi une position unique en Amérique du Nord.

Les sciences à l'époque victorienne

Le XIX^e siècle correspond au développement de la science victorienne (MacDonald, 1990), caractérisée par la grande popularité des sciences naturelles et la présence d'une bourgeoisie professionnelle férue de sciences qui dispose des moyens permettant de s'y consacrer. Inspirée des Lumières et de l'empirisme de Bacon, la science victorienne se traduit par une « volonté passionnée de comprendre la nature » (Lightman, 1997, p. 3). Au XIX^e siècle, elle s'est répandue dans l'aristocratie et la bourgeoisie britannique, donnant lieu à un

essor des activités scientifiques. Dans ses manifestations nord-américaines, la science victorienne part d'une vision à la fois messianique et utilitariste du Nouveau Monde, dans laquelle l'Amérique du Nord apparaît comme un territoire encore à explorer et à « civiliser », rempli de ressources naturelles providentiellement mises à la disposition des colonisateurs (Zeller, 1996). Les sciences naturelles s'inscrivent alors dans le contexte de l'impérialisme britannique et de son implantation au Canada.

L'adhésion des Canadiens à la culture scientifique victorienne joue un rôle dans l'implication graduelle des pouvoirs publics dans le financement et l'institutionnalisation des sciences (MacDonald, 1990). En effet, vers le milieu du XIX^e siècle, le gouvernement canadien voit dans le développement scientifique un outil d'appropriation du territoire et de développement économique. Cette vision mène à la création des premières institutions scientifiques du Canada. Ainsi, l'essor démographique économique et éducatif du Canada contribue à l'émergence d'une masse critique d'individus intéressés par les sciences, préalable nécessaire au décollage scientifique canadien.

Pierre-Luc Beauchamp est candidat au doctorat en Science, technologie et société à l'Université du Québec à Montréal.

beauchamp.pierre-luc@courrier.uqam.ca

Yves Gingras est professeur et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en histoire et sociologie des sciences du Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie (CIRST, UQAM)

gingras.yves@uqam.ca

Vie associative et institutions scientifiques au Canada

Les années 1820 constituent une première phase de développement des sociétés savantes au Canada. Les plus importantes sont la Literary and Historical Society of Quebec (LHSQ, fondée en 1824) et la Natural History Society of Montreal (1827) (Harris, 1977). Selon l'historien Richard Jarrell, les années 1830 correspondent à un âge d'or des sciences — surtout à Québec — qui pose les bases de l'activité scientifique au Bas-Canada. Ces sociétés savantes sont surtout issues d'initiatives de la bourgeoisie et de l'élite dirigeante anglophone canadienne, bien que la Société pour l'Encouragement des Sciences et des Arts au Canada fût aussi fondée en 1827 par des francophones membres des professions libérales (Jarrell, 1997). Elles constituent des lieux de sociabilité où l'on discute d'histoire naturelle, de littérature ou de culture en général. À partir des années 1840, le centre des activités scientifiques se déplace vers Montréal et au Canada-Ouest (l'actuelle province de l'Ontario), et de nouvelles institutions savantes voient le jour. Ainsi, le Royal Canadian Institute est fondé à Toronto en 1849. À la même époque, les francophones fondent des Instituts canadiens à Québec et Montréal, mais ceux-ci sont davantage tournés vers les humanités que vers les sciences.

Une caractéristique fondamentale de ces premières organisations scientifiques est leur nature généraliste et multidisciplinaire. En effet, les travaux de chimie, d'histoire et de botanique s'y côtoient fréquemment (Bernatchez, 1981). Il n'est donc pas encore question de communautés disciplinaires autonomes et spécialisées. Les activités de ces sociétés consistent surtout à organiser des rencontres entre leurs membres, qui y trouvent une occasion d'échanger sur des sujets scientifiques, mais aussi une manière d'accéder à des instruments scientifiques, à des artefacts muséaux et à des imprimés, achetés aux frais de la société, alors que ceux-ci sont difficiles d'accès à cette époque (Lamonde et Montreuil, 2003). Ces sociétés savantes reproduisaient ainsi un modèle bien établi sur le Vieux Continent.

Comme leurs devancières européennes, leurs homologues canadiennes vont parfois se lancer dans la publication de revues, fondant ainsi les premières publications savantes canadiennes. Ainsi, la LHSQ amorce en 1829 la publication de ses *Transactions*. Sur le modèle de celles des académies européennes, cette revue contient à la fois un résumé des activités sociales de la société et des comptes-rendus des conférences présentées lors de ses réunions (Bernatchez, 1981). Le contenu de ces périodiques reflète bien la nature éclectique des activités des membres. Les sociétés savantes francophones ne sont pas en reste, mais leurs publications des années 1820-1860 ne se consacrent pas spécifiquement aux découvertes scientifiques. Leur contenu inclut des actualités politiques, de la poésie et d'autres éléments qui les font souvent relever plus du magazine d'intérêt général que du périodique savant. Par exemple, l'*Abeille canadienne* publie depuis 1818 des articles concernant les « arts et les sciences » et la *Revue canadienne* (1864) est « l'une des dernières à prétendre toucher à tout » (Fortin, 2006, p. 43).

Parallèlement à ces développements, des institutions universitaires émergent. L'Université McGill détient une Charte royale universitaire depuis 1821, mais ce n'est que dans les années 1840 qu'elle accueille ses premiers étudiants. L'Université Queen's est, quant à elle, fondée à Kingston en 1841. En 1852, l'Université Laval, première université francophone canadienne, ouvre ses portes à Québec. Ces débuts universitaires sont toutefois assez timides; il faudra attendre les années 1890 pour que le nombre d'étudiants et la création de programmes de 2^e et 3^e cycles fassent de ces institutions des acteurs centraux du développement scientifique au pays (Gingras, 1991; Harris, 1977). Avant cette période, les universités demeurent avant tout des institutions d'enseignement et de formation des élites. Elles adoptent en cela leur rôle traditionnel plutôt que le modèle défini en Prusse par Alexander Von Humboldt, qui, en créant l'université de Berlin en 1810, met davantage l'accent sur le rôle du professeur-chercheur que sur celui d'enseignant (Turner, 1974). En somme, la recherche canadienne et sa diffusion au XIX^e siècle reposent essentiellement sur les travaux des sociétés savantes.

Le rôle de l'État canadien dans l'essor des sciences naturelles

Entre 1842 et les années 1860, des institutions vouées spécifiquement aux sciences naturelles se mettent en place. Cette seconde phase de développement se caractérise par un appui plus soutenu de l'État pour les sciences. Cet essor est associé à un certain nationalisme scientifique qui s'appuie toujours sur la dimension utilitariste de la science victorienne. Ainsi, en 1842, le gouvernement du Canada-Uni crée la Commission géologique du Canada. Son premier directeur, William Edmond Logan, originaire de Nouvelle-Écosse et ayant étudié à Édimbourg, entretient des liens étroits avec les milieux d'affaires montréalais et l'industrie minière. En 1852, l'État canadien amorce aussi un programme de recherches sur les pêcheries, confié à Pierre-Étienne Fortin, diplômé en médecine de l'Université McGill (Chartrand et collab., 2008). Dans les années 1850, la préoccupation croissante du gouvernement ontarien pour l'optimisation de l'agriculture canadienne et la lutte aux insectes nuisibles va favoriser la création en 1863 de l'Entomological Society of Canada. Quant à la Commission géologique, elle diversifie et accroît graduellement ses activités en se dotant d'un paléontologiste officiel (Elkanah Billings) en 1857. Ce dernier vient d'ailleurs de fonder une revue, le *Canadian Naturalist and Geologist* (1856), une étape supplémentaire dans l'institutionnalisation et la spécialisation de l'histoire naturelle (Chartrand et collab., 2008).

La spécialisation des revues savantes

La fondation du *Canadian Naturalist and Geologist* marque le début d'un processus de spécialisation disciplinaire des revues à vocation scientifique. C'est à partir de ce moment que se multiplient les publications des naturalistes canadiens, prélude à la disciplinarisation de la biologie canadienne. En

1863, le Nova Scotian Institute of Science débute la publication de ses *Proceedings* (Lamb et Cameron, 1964). Le Naturaliste canadien de l'abbé Léon Provancher, première revue scientifique spécialisée publiée en français en Amérique du Nord, paraît pour la première fois en 1868. La même année, l'Entomological Society of Canada lance le *Canadian Entomologist*. Après la décennie 1860, cet essor des institutions et périodiques en sciences naturelles se poursuit avec la fondation de la Toronto Entomological Society en 1877 et la publication des *Transactions* de l'Ottawa Field Naturalists' Club (1880). Les années 1880 marquent un pas de plus dans l'implication de l'État dans les sciences. Fondée en 1882 comme l'expression d'une volonté d'autonomie scientifique nationale, la Société royale du Canada vise à réunir l'élite des savants canadiens et à leur donner l'occasion de publier leurs travaux au pays grâce à ses Mémoires (Levere, 1996). En 1886, la création des Fermes expérimentales par le gouvernement fédéral confirme l'implication de celui-ci dans les institutions scientifiques. D'ailleurs, nombre des employés de cette nouvelle organisation proviennent des rangs de sociétés savantes comme la Société royale et l'Entomological Society of Canada (De Vecchi, 1984).

Parmi les institutions dont nous avons parlé plus haut, très peu sont fréquentées par les naturalistes francophones. De 1850 à 1920, outre l'Institut canadien de Québec (5 membres naturalistes) et la Société d'histoire naturelle de Québec (4 naturalistes), le nombre de naturalistes francophones actifs au sein d'une société savante ne dépasse pas un ou deux, comme dans le cas de la Natural History Society of Montreal (un seul naturaliste francophone) (Desmeules, 2010). C'est donc dans un contexte de fort développement institutionnel, mais auquel participent peu les naturalistes canadiens-français, que Léon Provancher publie sa revue.

La place de Léon Provancher dans le champ scientifique

Né à Bécancour en 1820, Léon Provancher exerce des fonctions religieuses officielles de prêtre de 1844 à 1869 dans plusieurs paroisses, notamment celles de Saint-Joachim et de Portneuf, tout en s'intéressant de près aux sciences naturelles. C'était un homme à la personnalité forte, qui plongeait aisément dans les controverses et les querelles, ce qui amène d'ailleurs les autorités religieuses à recommander sa démission du ministère paroissial de Portneuf en 1869. Il s'installe ensuite à Cap Rouge en 1872, pour mieux se consacrer aux sciences naturelles (Perron, 2003) et à de multiples projets. En cela, il n'est pas différent de beaucoup d'autres fondateurs de revues, souvent marginaux, mais pas moins déterminés (Stieg, 1986). Il est d'ailleurs doté d'un esprit entrepreneurial très marqué, qui se manifeste sur différents plans. Ainsi, en dehors de ses activités ecclésiastiques, il fonde une compagnie de navigation et des pépinières, en plus de se lancer dans de nombreux projets de construction ou de rénovation et d'y entraîner ses paroissiens (Perron, 2003). Après avoir visité la Terre Sainte en 1881, il se fait organisateur d'un second voyage en 1884 (Huard, 1926).

Ce tempérament énergique se manifeste dans ses activités de recherche scientifique. C'est sur ce plan que l'abbé Provancher laissera sa marque dans l'histoire des sciences, étant considéré comme l'un des pionniers les plus importants de l'entomologie au Canada et souvent appelé « le Linné canadien » (Holland, 1964). Il se consacre à la botanique dans les années 1850 et 1860, et publie en 1862 son œuvre la plus durable, la *Flore canadienne* (1862). La même année, il fait paraître un ouvrage d'horticulture, *Le Verger canadien* (Perron, 2003).

Comme beaucoup de naturalistes au XIX^e siècle, Provancher est un autodidacte, n'ayant reçu qu'une formation classique au Séminaire de Nicolet, grâce à une bourse d'études (Perron, 2003). Formé avant la création de l'Université Laval, il se voit décerner par cette institution un doctorat *honoris causa* en 1880. Malgré un isolement relatif, il réussit tout de même à se tailler une place dans le champ scientifique. Il se construit un vaste réseau de correspondants canadiens, américains et européens, qui lui permet de développer son expertise et de consolider sa position chez les naturalistes (Desmeules, 2010; Duchesne, 1981b). On pourrait d'ailleurs voir dans la correspondance de Provancher avec les entomologistes britanniques et américains une confirmation de son statut d'amateur dépendant de l'approbation de ces derniers pour la confirmation de ses découvertes. En réalité, la relation qui l'unit aux naturalistes de renom est davantage celle d'un collaborateur. Plutôt que de se limiter à une dynamique d'approbation verticale à sens unique, elle témoigne d'une relation de réciprocité et d'un souci constant de sa part de faire valider son travail par ses pairs (Desmeules, 2006).

Le statut de Provancher se confirme sur le plan académique par l'obtention de récompenses, alors qu'il remporte des prix scientifiques à l'exposition universelle de Paris en 1878 et en 1880. Élu à la Société royale du Canada en 1888, il est également accepté comme membre de plusieurs sociétés savantes canadiennes, américaines et européennes, dont certaines vont solliciter sa candidature en lui reprochant même parfois de choisir leur concurrente. Il demeure un taxinomiste d'importance, responsable de la classification de plusieurs centaines d'espèces inconnues jusqu'alors. Avant 1980, ses descriptions d'hyménoptères demeurent valides dans une proportion similaire (plus de 60 %) à celle d'entomologistes majeurs de son époque, comme l'Américain Ezra T. Cresson. Il a ainsi contribué « au désenclavement du Québec dans le domaine des sciences naturelles en jetant les bases de la recherche en entomologie, en conchyliologie et en botanique » (Desmeules, 2006, p. 13). Néanmoins, il importe de souligner qu'il est un acteur somme toute marginal de la communauté savante d'Amérique du Nord et d'Europe, qui demeure un espace savant fortement hiérarchisé.

Grâce au *Naturaliste canadien*, revue qui demeure de son vivant essentiellement l'affaire d'un seul homme, Provancher se distingue surtout par son rôle de rédacteur. De la création de la revue à sa mort en 1892, il y publie surtout des descriptions d'espèces de plantes et d'insectes, en plus d'articles de vulgarisation sur les sciences naturelles. Toutefois,

son rôle dépasse celui de rédacteur, car sa revue attire aussi des contributions d'autres auteurs. Il sollicite la collaboration d'amis et de collègues naturalistes, qui participent de façon sporadique à la publication en envoyant des articles sur la zoologie, l'entomologie ou la botanique. Il possède également une bibliothèque personnelle assez importante, qui lui permet de se tenir à jour dans l'évolution de son champ disciplinaire. Il utilise d'ailleurs volontiers *Le Naturaliste canadien* comme monnaie d'échange afin de se procurer gratuitement les publications dont il a besoin pour demeurer à jour et actif dans le domaine de l'entomologie (Duchesne, 1981a). En somme, *Le Naturaliste canadien* constitue le véhicule principal de ses stratégies d'investissement dans le champ scientifique.

Le Naturaliste canadien

La revue de Provancher a un parcours plutôt atypique et surprenant par sa résilience. En effet, de 1868 à aujourd'hui, elle sera successivement son affaire (de 1868 à 1892), puis celle de l'abbé Victor-Alphonse Huard (de 1894 à 1929), avant de passer sous la responsabilité de l'Université Laval (de 1929 à 1993), sous la gouverne de plusieurs professeurs se succédant à titre de rédacteurs. La revue se détache ainsi graduellement des ecclésiastiques pour passer aux mains des laïcs. Depuis 1994, elle est publiée par la Société Provancher (Perron, 2001).

À l'époque de la mise en circulation du *Naturaliste canadien*, le cercle des naturalistes canadiens-français est assez restreint et se concentre autour de Québec et de Montréal. Les naturalistes francophones les plus actifs correspondent surtout au modèle du prêtre-éducateur qui tire son savoir d'une formation classique et de recherches autodidactes, le tout parfois complété par une formation à l'étranger. Ce portrait diffère de celui de leurs confrères anglophones qui ont davantage accès à une formation universitaire, grâce à l'Université McGill et à des institutions anglo-saxonnes hors du Canada (Desmeules, 2010). Outre Provancher lui-même, le cœur de la communauté des naturalistes francophones de la fin du XIX^e siècle est formé de quelques professeurs de l'Université Laval tels l'abbé Louis-Ovide Brunet, botaniste et zoologiste, l'abbé Thomas-Étienne Hamel, qui enseigne la géologie, et son successeur, l'abbé Joseph-Clovis Kenner-Laflamme. Quelques membres des professions libérales, notaires ou médecins, figurent aussi au nombre des naturalistes canadiens-français. Ce sont surtout ceux-ci qui publient dans *Le Naturaliste canadien*.

Même lorsque la Société royale du Canada ouvre de nouveaux horizons pour les scientifiques francophones, la participation de ceux-ci demeure essentiellement symbolique et liée au contexte politico-linguistique canadien (Gingras, 1991). *Le Canada français*, revue plutôt généraliste des professeurs de l'Université Laval, n'est fondé qu'en 1888 et ne répond pas directement aux besoins d'une communauté scientifique en cours de spécialisation. Somme toute, il y a donc peu de véhicules pour la diffusion des travaux scientifiques des naturalistes canadiens-français avant le XX^e siècle. *Le Naturaliste canadien* arrive à point nommé pour les quelques naturalistes francophones, dans un domaine qui

amorce son processus d'autonomisation et de spécialisation. Toutefois, ni Provancher ni son successeur ne parviennent à transformer un simple intérêt pour les sciences naturelles en véritable occupation professionnelle. Il faut attendre le début des années 1920 pour que s'amorce un véritable mouvement scientifique au Canada français, dont la figure centrale est le Frère Marie-Victorin. Ce dernier reconnaît d'ailleurs le rôle de « précurseur » de Léon Provancher et du *Naturaliste canadien* (Marie-Victorin, 1919, p. 386). Conscient de l'importance d'une revue savante comme véhicule des contributions des chercheurs, Marie-Victorin tente sans succès, en 1925, de faire du *Naturaliste canadien* la revue de la Société canadienne d'histoire naturelle, qu'il vient de fonder avec d'autres membres de la Faculté des sciences de l'Université de Montréal (Desmeules, 2005).

Un jalon dans l'histoire de la diffusion scientifique francophone

Ce bref récit de l'histoire des sciences naturelles au Canada français au milieu du XIX^e siècle met en lumière la position particulière du premier périodique scientifique francophone consacré à l'histoire naturelle et de son fondateur, l'abbé Léon Provancher. En histoire naturelle, la frontière entre amateurs et spécialistes est alors encore très poreuse et il ne faudrait pas, par anachronisme, sous-estimer l'apport de personnages comme Provancher. Ainsi, l'Entomological Society de Londres est fondée en 1833 (Sheets-Pyenson, 1985), alors que la célèbre revue *Nature*, aux objectifs plus généralistes, ne voit le jour qu'en 1869, un an après la création du *Naturaliste canadien* (Baldwin, 2015). Il serait donc erroné de percevoir la fondation du *Naturaliste canadien* comme l'effort tardif d'un amateur qui s'inscrit dans le rattrapage d'un hypothétique retard scientifique du Canada français, face aux « professionnels » anglo-saxons de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Au contraire, le travail de classification d'insectes et de vulgarisation des sciences naturelles qu'on trouve dans les pages de la revue de Provancher s'inscrit dans une mouvance qui perdure au moins jusqu'au début du XX^e siècle. Ce n'est qu'à ce moment que la biologie expérimentale pratiquée par des spécialistes formés dans les universités prendra le pas sur l'entreprise victorienne de classification et de description de la nature. De ce point de vue, le frère Marie-Victorin, autodidacte devenu professeur d'université, fait figure de transition.

Conclusion

L'époque victorienne, avec le foisonnement des sociétés savantes qui l'accompagne, a été le creuset de l'institutionnalisation des sciences au Canada. Avant le développement des facultés des sciences au Québec après la Première Guerre mondiale, et avant l'implication plus systématique de l'État dans les sciences surtout après la Seconde Guerre, Léon Provancher, alliant son élan entrepreneurial à sa passion pour la culture scientifique, a fondé une revue qui a joué un rôle pionnier dans le mouvement scientifique pancanadien du dernier tiers du XIX^e siècle. ◀

Références

- BALDWIN, M., 2015. *Making Nature. The history of a scientific journal.* The University of Chicago Press, Chicago, 309 p.
- BERNATCHEZ, G., 1981. La société littéraire et historique de Québec (The Literary and Historical Society of Quebec), 1824-1890. *Revue d'histoire de l'Amérique française*, 35 (2): 179-192.
- CHARTRAND, L., R. DUCHESNE et Y. GINGRAS, 2008. *Histoire des sciences au Québec. De la Nouvelle-France à nos jours.* 2^e édition. Boréal, Montréal, 535 p.
- DARWIN, C., 1859. *On the origin of species.* John Murray, London, 440 p.
- DE VECCHI, V.M.G., 1984. The dawning of a national scientific community in Canada, 1878-1896. *HSTC Bulletin : revue d'histoire des sciences, des techniques et de la médecine au Canada*, 8-1 (26): 32-58.
- DESMEULES, M., 2005. Marie-Victorin veut s'emparer du *Naturaliste canadien!* *Le Naturaliste canadien*, 129 (2): 15-16. Disponible en ligne à : https://www.provancher.org/Naturaliste_Canadien_129-2_ETE_2005.pdf.
- DESMEULES, M., 2006. La contribution entomologique et taxinomique de l'abbé Léon Provancher. *Le Naturaliste canadien*, 130 (2): 7-15.
- DESMEULES, M., 2010. *Pratiques et réseaux des naturalistes au Québec, 1850-1920.* Thèse de doctorat (histoire), Université Laval, Québec, 337 p. Disponible en ligne à : <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/22406>.
- DUCHESNE, R., 1981a. La bibliothèque scientifique de l'Abbé Léon Provancher. *Revue d'histoire de l'Amérique française*, 34 (4): 535-556.
- DUCHESNE, R., 1981b. Science et société coloniale: les naturalistes du Canada français et leurs correspondants scientifiques (1860-1900). *HSTC Bulletin : revue d'histoire des sciences, des techniques et de la médecine au Canada*, 5-2 (18): 99-139.
- FORTIN, A., 2006. *Passage de la modernité. Les intellectuels et leurs revues (1778-2004).* 2^e édition, Presses de l'Université Laval, Québec, 445 p.
- GINGRAS, Y., 1991. Les origines de la recherche scientifique au Canada: le cas des physiciens. Boréal, Montréal, 299 p.
- HARRIS, R.S., 1977. *A history of higher education in Canada (1663-1960).* University of Toronto Press, Toronto, 715 p.
- HOLLAND, G.P., 1964. L'ABBÉ LÉON PROVANCHER, 1820-1892. Dans: STANLEY, G.F.G. (édit.), *Pioneers of Canadian science*, Symposium presented to the Royal Society of Canada. University of Toronto Press, Toronto, p. 44-53.
- HUARD, V.-A., 1926. *La vie et l'œuvre de l'abbé Léon Provancher.* Éditions Spes, Paris, 509 p.
- JARRELL, R.A., 1997. The rise and decline of science at Quebec, 1824-1844. *Histoire sociale/Social History*, 10 (19): 77-91.
- LAMB, W.K. et T.W.M. CAMERON, 1964. *Biologists and biological research since 1864.* Dans: Stanley, G.F.G. (édit.), *Pioneers of Canadian science*, Symposium presented to the Royal Society of Canada. University of Toronto Press, Toronto, p. 36-43.
- LAMONDE, Y. et S. MONTREUIL (dir.), 2003. *Lire au Québec au XIX^e siècle.* Fides, Montréal, 330 p.
- LEVERE, T., 1996. The most select and the most democratic: A century of science in the Royal Society of Canada. *Scientia Canadensis*, 20 (49): 3-99.
- LIGHTMAN, B. (édit.), 1997. *Victorian science in context.* University of Chicago Press, Chicago, 489 p.
- MACDONALD, B., 1990. *Public knowledge: The dissemination of scientific literature in Victorian Canada as illustrated from the geological and agricultural sciences.* Thèse de doctorat (Sciences de l'information), University of Western Ontario, London, 367 p.
- MARIE-VICTORIN, F., 1919. L'abbé Léon Provancher. *L'Action française*, 3 (9): 385-393.
- PERRON, J.-M., 2001. La course à relais du *Naturaliste canadien.* *Le Naturaliste canadien*, 125 (2): 6-10. Disponible en ligne à : https://www.provancher.org/Histoire_naturaliste_canadien.pdf.
- PERRON, J.-M., 2003. Provancher, Léon. *Dictionnaire biographique du Canada*, 12, Université Laval/University of Toronto. Disponible en ligne à : http://www.biographi.ca/fr/bio/provancher_leon_12F.html.
- PROVANCHER, L., 1862. *Flore canadienne.* Joseph Darveau imprimeur-éditeur, Québec, 843 p.
- SHEETS-PYENSON, S., 1985. Popular science periodicals in Paris and London: The emergence of a low scientific culture, 1820-1875. *Annals of Science*, 42 (6): 549-572.
- STIEG, M.F., 1986. *The origin and development of scholarly historical periodicals.* The University of Alabama Press, Tuscaloosa, Alabama, 261 p.
- TURNER, S., 1974. University reformers and professorial scholarship in Germany, 1760-1806. Dans: STONE, L. (édit.) *The University in Society*, vol. II, Europe, Scotland, and the United States from the 16th to the 20th Century. Princeton University Press, Princeton, p. 495-531.
- ZELLER, S., 1996. *La nouvelle Terre promise. La culture de la science victorienne au Canada.* La société historique du Canada, Ottawa, 30 p.

Sur les traces de l'épithèque de Provancher au mont Yamaska (Odonata : Corduliidæ : *Neurocordulia yamaskanensis*)

Alain Mochon et Michel Savard

Résumé

L'épithèque de Provancher (*Neurocordulia yamaskanensis*) a fait l'objet en 2017 d'une investigation au pied du mont Yamaska, dans le cours lent et sinueux de la rivière Noire, située à Saint-Pie, en Montérégie. Il s'agit de la localité type de l'espèce, découverte il y a plus de 140 ans par l'abbé Léon Provancher, et qui n'avait pas été explorée depuis sur le plan odonatologique. La collecte d'exuvies et l'observation d'adultes ont montré qu'une population de l'espèce est toujours présente dans l'environnement du mont Yamaska. Cette libellule discrète, rarement observée au Québec, passe généralement inaperçue en raison de ses mœurs strictement crépusculaires. Ce retour aux sources de la découverte de Provancher, en 1875, se veut un clin d'œil à son œuvre durable qui persiste par l'intermédiaire de sa revue *Le Naturaliste canadien* qui souligne, en 2018, son 150^e anniversaire.

MOTS CLÉS : épithèque de Provancher, Léon Provancher, mont Yamaska, *Neurocordulia yamaskanensis*, rivière Noire

Abstract

The Stygian Shadowdragon (*Neurocordulia yamaskanensis*) was the subject of an investigation in 2017 at the foot of Mount Yamaska, in the slow and winding course of the Black River, located in Saint-Pie, Montérégie. This is the type locality of the species, discovered more than 140 years ago by Reverend Léon Provancher, and which had not been explored since at the odonatological level. The collect of exuviae and crepuscular observations of adults have shown that a population of the species is still present in the Mount Yamaska area. This discreet dragonfly, rarely seen in Québec, usually goes unnoticed because of its crepuscular behavior. This return to the origins of Provancher's discovery in 1875 is a nod to his lasting work, which continues through his magazine *Le Naturaliste canadien*, which in 2018 marks its 150th anniversary.

KEYWORDS: Black River, Léon Provancher, *Neurocordulia yamaskanensis*, Stygian Shadowdragon, Yamaska mountain

Introduction

Le 8 juillet 1875, l'abbé Léon Provancher (1820-1892, figure 1) découvrit une nouvelle espèce de libellule à l'occasion d'une excursion entomologique au mont Yamaska, situé à une vingtaine de kilomètres au sud de Saint-Hyacinthe. Cette espèce est aujourd'hui connue sous le nom scientifique de *Neurocordulia yamaskanensis*, l'épithète rappelant le lieu de la découverte. Pilon et Lagacé (1998) ont pour leur part proposé le nom commun d'épithèque de Provancher, honorant le descripteur. Depuis cette découverte, aucun odonatologiste n'a fréquenté la colline montréalaise de Yamaska et ses environs.

Pour souligner la contribution exceptionnelle de ce naturaliste pionnier, dans le contexte du 150^e anniversaire de la revue *Le Naturaliste canadien* qu'il a fondée en 1868, le premier auteur a eu l'idée de vérifier si l'espèce était toujours présente de nos jours dans la localité type. Pour ce faire, il a établi une stratégie de recherche sur le terrain sur la base du récit historique de cette excursion et des plus récentes informations biologiques connues sur l'espèce.

Le récit d'une découverte

L'excursion au mont Yamaska

L'abbé Léon Provancher, établi à Cap-Rouge (maintenant un quartier de la ville de Québec), profitait des occasions

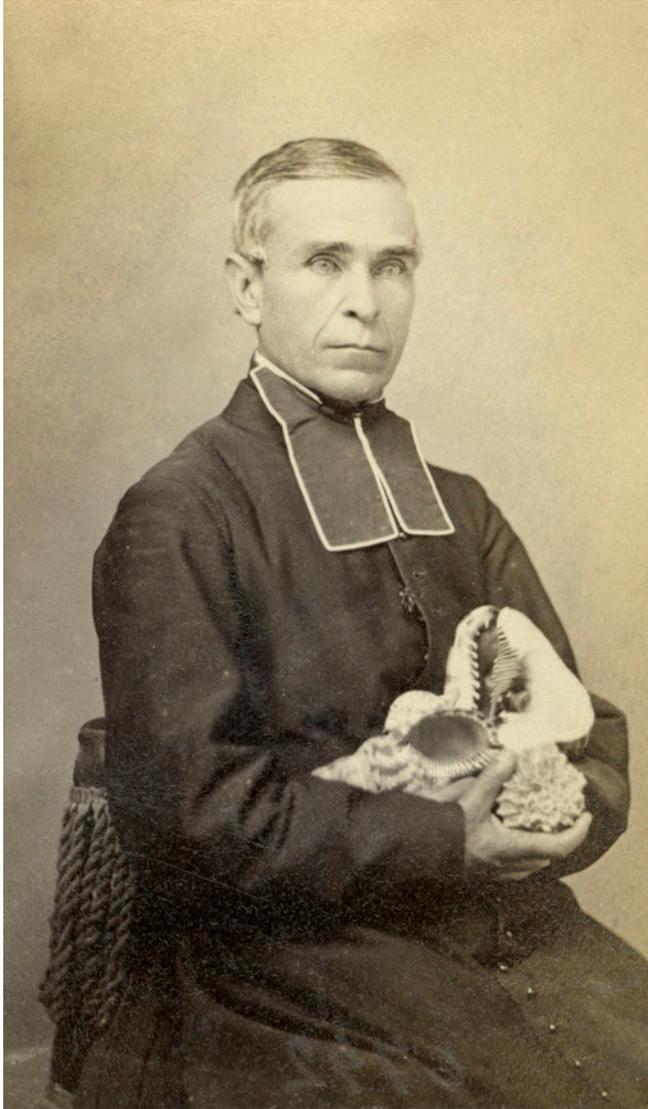
qui s'offraient à lui pour étendre le champ de ses recherches entomologiques à différentes parties de la province. C'est pour assister à la tenue d'exercices oratoires de fin d'année au Séminaire de Saint-Hyacinthe qu'il entreprit un voyage de quelques jours dans le sud du Québec, en juillet 1875. Il répondait favorablement à l'invitation de son grand ami et collaborateur, l'abbé François-Xavier Burque (1851-1923), un jeune professeur d'histoire naturelle attaché à ce collège qui possédait un vif intérêt pour l'étude des insectes. Ils profitèrent de ce séjour pour réaliser une excursion entomologique au mont Yamaska. Voici comment l'abbé Provancher relate cette excursion dans les pages du *Naturaliste canadien* :

Alain Mochon, M. Sc., est responsable du Service de la conservation et de l'éducation au parc national de la Yamaska. Dans le cadre de sa participation à l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec, il réalise des relevés odonatologiques, principalement en Montérégie et en Estrie.

mochon.alain@sepaq.com

Michel Savard, M. Sc., est président d'Entomofaune du Québec et responsable de l'Initiative pour un atlas des libellules du Québec. Il travaille en santé environnementale au Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

michel.savard@sss.gouv.qc.ca



Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Figure 1. Photo de l'abbé Léon Provancher (1820-1892) / P428, S3, SS1, D43, P14 / Fonds L'Action catholique / Portraits de prêtres / Photographe inconnu.

Il est surtout une montagne du voisinage que nous tenions à visiter avant toutes les autres, c'est celle de Yamaska, dans la paroisse de St. Paul d'Abbotsford, distance de 14 miles [22,5 km]. Nous ambitionnions surtout la chance d'y faire la rencontre de l'Ablabes triangulum, Duméril [la couleuvre tachetée, Lampropeltis triangulum] sans contredit la plus belle et la plus remarquable de toutes nos couleuvres, et dont notre ami, le Professeur Crevier, nous a montré deux superbes échantillons qu'il avait lui-même capturés sur cette montagne. Le jeudi, 8 Juillet, le soleil se lève tout radieux dans un ciel sans nuages, présageant une de nos plus belles journées d'été. [...] Aussi, dès les six heures, toujours en compagnie de Mr. Burque, nous montions en voiture, munis de tous les accessoires indispensables à une telle excursion, après nous être adjoint Mr. Clopin (sic) [Georges-Camille Clapin, 1857-1929 (Perron, 2010)], élève de philosophie [...].

Nous suivons les sinuosités de la rivière Yamaska qui nous offre à chaque instant, dans ses gracieux contours, ses îles

verdoyantes de graminées sauvages, ses petites baies où s'étalent la Sagittaire, la Pontédérie, des Potamots, etc.

Arrivés à St. Pie, après avoir été présenter nos hommages au brave curé du lieu, nous recrutons un jeune élève du collège habitant de l'endroit, un Mr. Roy, parfaitement au fait des chemins et sentiers qui sillonnent la montagne que nous allions visiter, et nous poursuivons notre course. [...] En moins d'une demi-heure, nous sommes au pied de la montagne que nous avons vu s'élever à mesure que nous en approchions. [...]

Cette montagne peut mesurer de 1100 à 1120 pieds [335 à 366 m] d'élévation; elle est très escarpée du côté du Nord, et à l'endroit où nous en faisons l'ascension, du côté du Sud-Ouest, la pente est aussi fort raide, bien que toutefois elle puisse porter, au moyen de détours, un chemin de voiture pour l'exploitation des arbres forestiers qui la recouvrent. Nous atteignons, à environ 200 pieds [60 m] d'élévation, un petit plateau, où nous trouvons des tables fixées sous d'énormes noyers, à la disposition des nombreux visiteurs qui y vont en pique-niques. Nous avons de ce point une vue vraiment enchanteresse. Au dessus de l'immense plaine [...], les monts Johnson [aujourd'hui Saint-Grégoire], Rougemont, St. Hilaire et Boucherville [renommé Saint-Bruno], quoique isolés les uns des autres, semblent se donner la main pour fermer l'horizon dans le lointain. [...]

Tout en suivant lentement le sentier qui serpente sur le flanc de la montagne, nous faisons jouer le filet faucheur à gauche et à droite, et faisons force captures d'insectes [...].

De nombreuses Libellules et autres Névroptères [ancien nom donné à un ordre d'insectes qui incluait les odonates] sont à tout instant à voltiger autour de nous ou à se reposer sur des feuilles, nous saisissons: Libellula forensis, Hagen [une espèce autrefois non distinguée de Libellula pulchella, ce que l'abbé Provancher rectifiera dans sa faune des névroptères (Provancher, 1877)], si facile à distinguer par la large bande noire qui lui traverse les ailes au-delà de la moitié de la longueur. [...] Nous saisissons encore au vol une superbe Æschne nouvelle que nous pensons n'avoir pas encore décrite. [...] Nous lui donnerons, du lieu de son origine, le nom de Yamaskanensis; nous en donnons plus loin la description. (Provancher, 1875a, p. 235-238)

Au départ, l'abbé Provancher classa sa nouvelle espèce dans le genre «*Æschna*» (figure 2; Provancher, 1875a). Son spécimen montre en effet des traits anatomiques similaires et typiques des libellules rappelant ce genre: de gros yeux composés, contigus sur une longue distance, et terminés par un court occiput. L'abbé Provancher confia son spécimen type à Hermann August Hagen (1817-1893), un taxinomiste allemand qui immigra en 1867 pour devenir le premier professeur d'entomologie dans une université américaine, attaché au Museum of Comparative Zoology de Harvard à Cambridge au Massachusetts, et aussi grand ami et correspondant de l'entomologiste belge Michel Edmond de Sélys Longchamps (1813-1900) qui faisait autorité dans la systématique des odonates (Sélys, 1878; Wasscher et Dumont, 2013). Sur la base de ses échanges soutenus avec le professeur Hagen de 1876 à 1878 (figure 3), l'abbé Provancher reclassa judicieusement sa nouvelle espèce dans le genre *Epithea* (Provancher, 1877), suivant le courant taxinomique de l'époque. Le spécimen type est toujours précieusement conservé à l'Université Laval (figure 4).

Alain Mochon



Æschne d'Yamaska. *Æschna Yamaskanensis*, nov. sp.

♂—Long. 2 pes. ; envergure 2.70 pes. Brune tachetée de jaunâtre. Face jaunâtre, un peu plus obscure en dessus ; thorax brun avec une ligne jaune sur le dos de chaque côté et une autre au milieu en avant, les côtés plus clairs avec une tache circulaire jaune au dessus de l'insertion des hanches intermédiaires à l'endroit du stigmat. Pattes d'un brun foncé presque noir, plus claires à la base, les hanches brun-jaunâtre, de même couleur que le corps. Abdomen long, contracté après le renflement de la base, brun, la base de même couleur que le thorax, chaque segment marginé de noir en avant et de jaune clair en arrière, le 3e segment avec une tache jaune près du sommet en dessus, et les segments 4, 5, 6, 7, 8 et 9 avec une tache allongée de la même couleur sur les côtés. Appendices supérieurs noirs, l'inférieur plus court, brun. Ailes hyalines, tachées de jaune fauve à la base et légèrement lavées de brun à l'extrémité ; membranule d'un blanc de lait, tachée de noir en arrière ; stigma fauve.

Figure 2. L'épithèque de Provancher (*Neurocordulia yamaskanensis*): à gauche, mâle adulte (longueur totale: 53 mm) capturé à la rivière Noire le 27 juillet 2017 et photographié en captivité, de jour, le lendemain. À droite, protologue de Provancher paru en 1875 dans *Le Naturaliste canadien* (Provancher, 1875b).

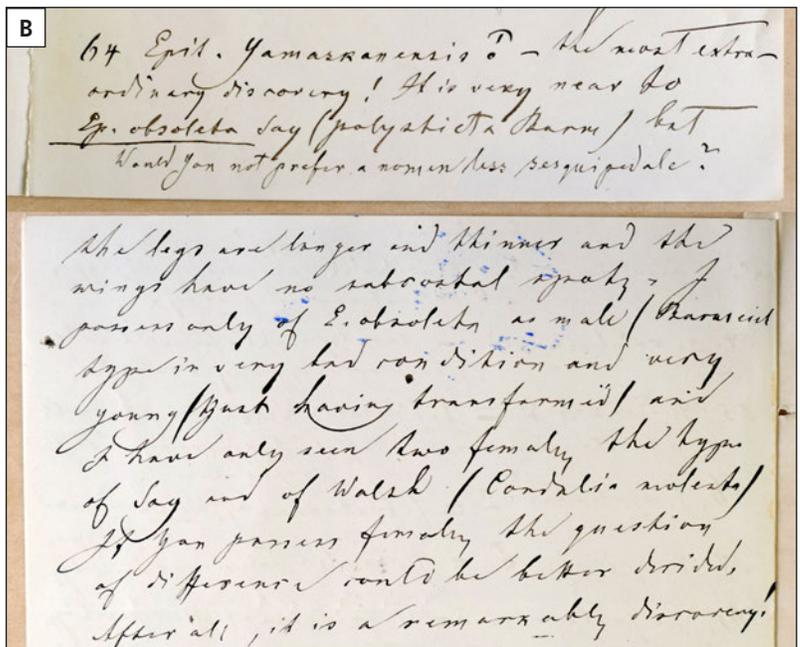
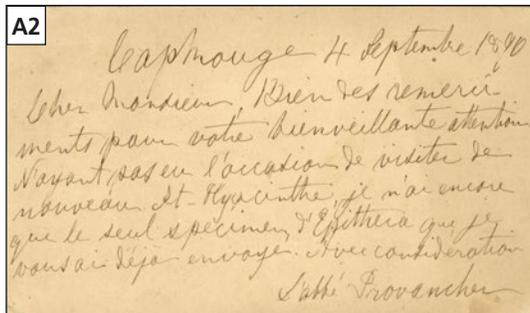
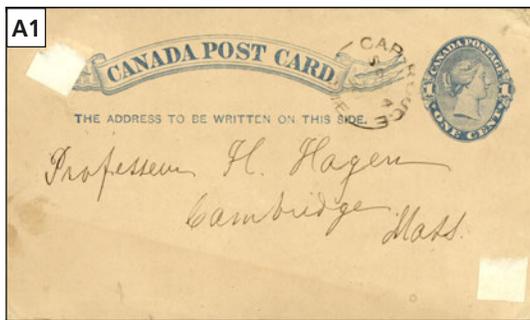


Figure 3. A1 et A2) Carte postale envoyée par l'abbé Provancher au professeur Hagen le 4 septembre 1876: « Cher Monsieur, Bien des remerciements pour votre bienveillante attention. N'ayant pas eu l'occasion de visiter de nouveau St-Hyacinthe, je n'ai encore que le seul spécimen d'*Epithea* que je vous ai déjà envoyé. Avec considération. L'abbé Provancher ». Archives du Museum of Comparative Zoology, Ernst Mayr Library, Harvard University, dossier 6Mu 2266.10.2. 3. B) Extrait de la lettre envoyée par le professeur Hagen à l'abbé Provancher le 16 janvier 1877: « 64 *Epit. Yamaskanensis* ♂— The most extraordinary discovery! It is very near to *Ep. obsoleta* Say (*polysticta* Burm.) but the legs are longer and thinner and the wings have no subcostal spots. I possess only of *E. obsoleta* as male (Burmeister type in very bad condition and very young / just having transformed) and I have only seen two females the type of Say and of Walsh (*Cordulia molesta*). If you possess females the question of difference could be better divided. After all, it is a remarkably discovery! Note: Would you not prefer a *nomen* less sesquiperdale? » Archives de l'Évêché de Chicoutimi, ASC-P04, S01, SS02, Séminaire de Chicoutimi / Fonds Abbé Léon Provancher. La note du professeur Hagen était fort à propos, car on trouve dans les publications scientifiques qui s'en suivirent plusieurs graphies erronées de l'épithète spécifique: *jamascarensis*, *yamascarensis*, *yamaskarnensis*, *yamaskensis*, *yamaskaensis*...

L'abbé Provancher poursuit son récit en fournissant d'autres repères géographiques qui nous renseignent sur l'itinéraire emprunté par les excursionnistes :

Après bien des détours et des montées plus ou moins escarpées, à travers des arbres d'une fort belle venue pour croître en de pareils endroits, nous atteignons enfin le petit lac, qui n'est pas fort au dessous du point le plus élevé. Cette mare fangeuse qu'on décore du nom de lac est si peu apparente, que sans le secours d'un bucheron qui se trouvait là, nous aurions failli à

la rencontrer à travers les divers sentiers qui se croisent en tous sens. Cette mare peut avoir une huitaine d'arpents de diamètre, et à part un petit endroit près de sa décharge, elle n'est presque pas accessible, tant les bords en sont peu consistants. [...] Notre bucheron nous dit qu'à une huitaine d'arpents [environ 465 m] de distance vers l'Est, il se trouve un autre lac beaucoup plus grand et de bien meilleure apparence; mais vu la chaleur et la fatigue que nous avons déjà éprouvées, nous renonçons à la visite de ce dernier. [...]

Mais déjà nos estomacs commençaient à nous faire sentir leur exigence et nos montres indiquaient aussi que l'heure du dîner était même passée. Nous reprîmes donc la route de la descente pour l'endroit des noyers où nous avons laissé nos provisions. [...] Après un repas comme on en prend de tels que dans les bois et après un exercice tout autre que ceux que nous nous donnons d'ordinaire, nous poursuivîmes nos chasses dans le voisinage, où nous pûmes doubler, tripler, et quadrupler les captures de l'avant-midi.

Voulant profiter du frais du soir pour opérer notre retour, il était passé 6 h., lorsque nous reprîmes la voiture, enchantés de notre excursion et triomphants de nos nombreuses et rares captures. (Provancher, 1875a, p. 241-242)

Cette description bucolique du paysage – panorama vers l'ouest sur les collines montérégiennes, chemin de voiture pour l'exploitation forestière, petit lac près du point le plus élevé, proximité d'un grand lac vers l'est – permet de reconstituer le parcours effectué par l'abbé Provancher (figure 5).

Pour orienter la recherche de l'épithèque de Provancher dans la localité type, un premier constat s'imposa : le mâle capturé de jour au mont Yamaska – qui n'avait pas encore pleinement atteint sa maturité selon la pigmentation du spécimen conservé à l'Université Laval – n'était pas dans son habitat de reproduction. Toutefois, la rivière Noire, serpentant au pied du flanc nord, offre un bon potentiel.

L'état des connaissances sur l'espèce

Répartition au Québec

L'aire de répartition canadienne de l'épithèque de Provancher, une espèce endémique au nord-est de l'Amérique du Nord, touche la partie méridionale du Québec, de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick, en plus d'une mention ponctuelle au sud-est du Manitoba (Brunelle, 2010; Needham et collab., 2014; Paulson, 2011).

L'épithèque de Provancher demeure une libellule peu rapportée au Québec (Savard, 2011). Dans son livre synthétisant les connaissances faunistiques de ses 25 années d'exploration odonatologique au Québec, le frère Adrien Robert (1906-1964) soulignait au sujet de la capture d'adultes de cette espèce que : « la bonne fortune de l'abbé Provancher qui a découvert les premiers exemplaires au mont Yamaska n'avait été répétée chez nous qu'en trois autres circonstances » (Robert, 1963; ajoutant en annexe une quatrième occurrence).

Sous la direction du Dr Jean-Guy Pilon de l'Université de Montréal, les nombreux travaux d'inventaires systématiques d'odonates adultes réalisés de 1965 à 1994 dans le Québec méridional n'apportent aucune nouvelle mention



Michel Savard



Michel Savard

Figure 4. Spécimens de l'épithèque de Provancher (*Neurocordulia yamaskanensis*) capturés par l'abbé Léon Provancher: **A)** mâle (holotype), capturé au mont Yamaska le 8 juillet 1875, n° 72 de sa collection personnelle (Perron, 2012); **B)** femelle (allotype), capturée à Saint-Hyacinthe en août 1877, n° 48 de la collection Provancher de Lévis, dans son tiroir original (Perron, 2014). Nous reconnaissons l'écriture de Provancher et le cadre rouge imprimé sur l'étiquette pour distinguer sa deuxième collection de sa première cédée en 1877 au Gouvernement du Québec (Perron, 2012). Collection de l'Université Laval, visitée le 4 mars 2014.

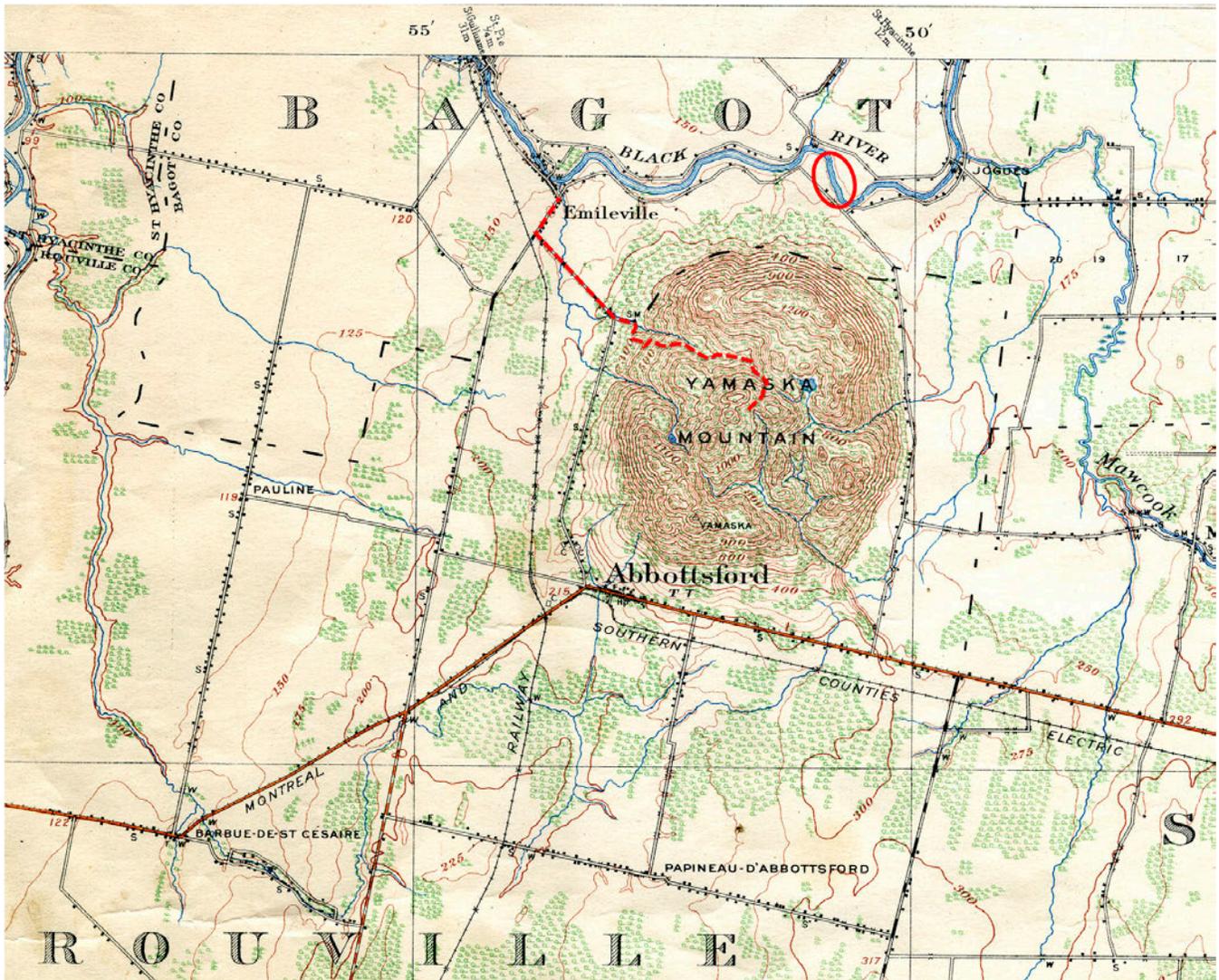


Figure 5. Carte topographique de la région de Granby (échelle 1/50 000), montrant le mont Yamaska, la rivière Noire (Black River) et l'utilisation du sol, tels qu'ils apparaissent en 1912 (Canada, 1928). Le trait pointillé rouge en superposition montre l'itinéraire parcouru par Provancher lors de son excursion entomologique du 8 juillet 1875. La zone encadrée d'un trait rouge localise le site d'investigation de 2017 (latitude 45,483° N.; longitude 72,845° O.).

(Savard, 2011). Cependant, du côté des entomologistes amateurs, grâce à la collecte d'exuvies et à la pêche de naïades, Benoît Ménard et Raymond Hutchinson révèlent la présence de l'espèce dans 13 localités en Outaouais (Hutchinson, 2001; Hutchinson et Ménard, 1994; Ménard, 1996). Plus récemment, en 2012 et 2013, de nombreuses exuvies des deux espèces du genre *Neurocordulia* connues au Québec sont découvertes sur les talus de la berge de la rivière Batiscan, dans la municipalité de Saint-Adelphe, en Mauricie (Charest et Savard, 2014). Sur cette lancée, toujours au moyen de la collecte d'exuvies, des populations de l'épithèque de Provancher sont relevées par le premier auteur en 2016 à la rivière Saint-François, en aval d'East-Angus, en Estrie, puis en 2017, au lac Wapizagonke, dans le parc national de la Mauricie (données inédites).

Habitat préférentiel et dispersion

La naïade de l'épithèque de Provancher vit dans les eaux courantes, correspondant aux larges rivières ayant un cours turbulent à lent ainsi qu'aux eaux agitées par les courants littoraux et les vagues de grands lacs ou de réservoirs (Hutchinson et Ménard, 2016; Paulson, 2011; Walker et Corbet, 1975). Au moment d'émerger, la naïade rampe hors de l'eau sur une paroi rocheuse, un arbre, un talus de berge ou une structure artificielle, telle une culée de pont. Une fois immobilisée sur son support, l'adulte s'extirpe lentement de son enveloppe nymphale avant d'entreprendre un premier vol, laissant derrière lui l'exosquelette – l'exuvie – qui témoigne de son lieu d'émergence. À ce moment précis, l'adulte au corps mou est très vulnérable aux prédateurs et aux intempéries.

Ce vol inaugural l'éloigne temporairement de son habitat de reproduction et le mène vers un milieu forestier protecteur, le temps que son corps durcisse et que ses ailes se raffermissent. Le nouvel adulte peut donc en plein jour se trouver en transit dans les champs et les clairières environnants (Hutchinson et Ménard, 1994). Le lieu de maturation et la distance de dispersion de cette espèce, avant que les adultes ne retournent à un site de reproduction, ne sont pas bien connus. Corbet (1999) estime que les odonates adultes en maturation peuvent s'éloigner de 100 m à quelques dizaines de kilomètres, selon la topographie locale et des courants thermiques. Il est présumé que l'essentiel de ce temps de maturation, pouvant s'étendre sur environ deux semaines selon la température estivale (Corbet, 1999), se passe dans la canopée en milieu forestier pour l'épithèque de Provancher (MDFW, 2015). Après quoi, l'adulte mature retourne à la rivière ou au lac pour se reproduire, ne s'éloignant guère cette fois de son site de reproduction pour le repos dans la cime d'un arbre (Brunelle, 2010; Walker, 1915).

Des mœurs crépusculaires

Le nom anglais de la libellule, *Stygian Shadowdragon*, réfère à l'aspect cryptique et sombre de sa coloration se fondant dans la pénombre (Paulson et Dunkle, 2016). En effet, les épithèques du genre *Neurocordulia* sont remarquables en zone tempérée pour leurs habitudes de vol strictement

crépusculaires. Les adultes reproducteurs sont actifs pendant une courte période, tout juste après le coucher du soleil, soit une fenêtre d'activité d'une demi-heure tout au plus dans le cas de l'épithèque de Provancher. Durant ce court laps de temps, une frénésie s'empare d'eux alors qu'ils s'activent en grand nombre au ras de l'eau. Cette période journalière de vol coïncide avec celle de certains éphéméroptères sur lesquels les épithèques se nourriraient principalement; après quoi, ils disparaissent pour se réfugier dans les arbres (Hutchinson et Ménard, 1994; MDFW, 2015; Walker, 1915; Walker et Corbet, 1975).

En raison des mœurs crépusculaires et arboricoles des adultes, la collecte d'exuvies représente la technique de relevé considérée la plus efficace pour déceler la présence de l'épithèque de Provancher et des autres espèces du même genre (Brunelle, 2010).

Sur la piste de l'abbé Provancher

Description du milieu inventorié

La recherche de l'espèce dans la localité type s'est tournée sur un tronçon de la rivière Noire qui se rapproche le plus du mont Yamaska (latitude 45,483° N.; longitude 72,845° O.). Ce site d'investigation se situe à près de 2 km du site historique de capture par l'abbé Provancher (figure 5).



Figure 6. Site de recherche montrant le cours lent et sinueux de la rivière Noire, large d'environ 60 m, avec en arrière-plan le versant abrupt de la face nord du mont Yamaska qui culmine à 418 m, Saint-Pie, Montérégie. Photo prise le 18 juillet 2017.



Alain Mochon



Alain Mochon



Alain Mochon

Figure 7. L'épithèque de Provancher (*Neurocordulia yamaskanensis*): A) exuvie (♂; longueur totale: 23 mm) collectée sur le talus d'érosion de la rivière Noire le 18 juillet 2017; B) adulte (♂; longueur totale: 53 mm) capturé en vol au-dessus de la rivière Noire le 18 juillet 2017 à 20 h 48; C) adulte (♂; longueur totale: 53 mm) capturé dans les mêmes circonstances le 23 juillet 2017 à 20 h 43, avec à l'horizon les dernières lueurs du jour.

La rivière Noire, longue d'environ 103 km, draine à elle seule près du tiers (1 581 km²) de la superficie totale du bassin versant de la rivière Yamaska. Elle prend sa source en amont de la municipalité de Bonsecours, à 207 m d'élévation dans la chaîne des Appalaches, puis coule en direction ouest par la municipalité de village de Roxton Falls et les municipalités d'Upton et de Saint-Pie, dans les basses-terres du Saint-Laurent, avant de rejoindre le cours principal de la rivière Yamaska en amont de Saint-Hyacinthe, à une élévation de 22 m (OBV Yamaska, 2014).

À son passage près du mont Yamaska, la rivière Noire fait environ 60 m de large (figure 6) avec une profondeur de 4,6 m, telle que mesurée le 5 août 2017. Le cours sinueux est lent et non influencé par la présence du barrage d'Émileville construit en 1913 (MDDELCC, 2018), situé à environ 5 km en aval du site de recherche. Dans ce secteur, la rivière creuse son lit dans des dépôts meubles fins. Le talus de la berge est relativement abrupt, avec un dénivelé d'au moins 4 m. Des herbiers émergents, constitués surtout du butome à ombelle (*Butomus umbellatus*) et de la sagittaire à larges feuilles (*Sagittaria latifolia*), occupent la zone littorale dans les 2 premiers mètres de la rive, faisant place aux herbiers submergés d'élodée du Canada (*Elodea canadensis*) et de potamogeton (*Potamogeton* sp.). Les eaux sont turbides et d'apparence brunâtre. Au-delà des rives boisées, l'occupation du sol est essentiellement agricole, à l'exception du mont Yamaska qui constitue l'un des derniers massifs forestiers d'importance dans le secteur.

À la recherche de l'épithèque de Provancher

L'investigation sur le terrain a débuté le 10 juillet 2017, pour s'étaler sur quelques semaines jusqu'au 14 août 2017. Au total, 7 visites d'une durée moyenne de 2 heures ont été réalisées. Toutes les visites, à l'exception de la première, se faisaient en fin de journée, entre 17 h et 21 h, de façon à couvrir la période du crépuscule. Sur place, les recherches se faisaient en deux temps: en explorant d'abord la végétation riveraine au pied du talus d'érosion du méandre afin d'y collecter manuellement les exuvies; puis en fin de journée, à partir d'une demi-heure avant le coucher du soleil, en se déplaçant en canot au centre du cours d'eau afin d'apercevoir les adultes en vol.

Après une visite de reconnaissance des lieux effectuée dans l'après-midi du 10 juillet, 2 exuvies de l'épithèque de Provancher sont trouvées la semaine suivante, le 18 juillet (figure 7a), et, en prime, une trentaine d'adultes en vol sont repérés dès le coucher du soleil à 20 h 34. Durant cette soirée sans nuages et sans vent, après plusieurs coups de filet infructueux, un premier spécimen mâle est capturé et photographié à 20 h 48 (figure 7b). Sa coloration et ses traits anatomiques correspondent exactement au protologue de Provancher (figure 2). Puis, 2 autres mâles sont capturés avant que ne cesse l'activité de vol des adultes vers 21 h.

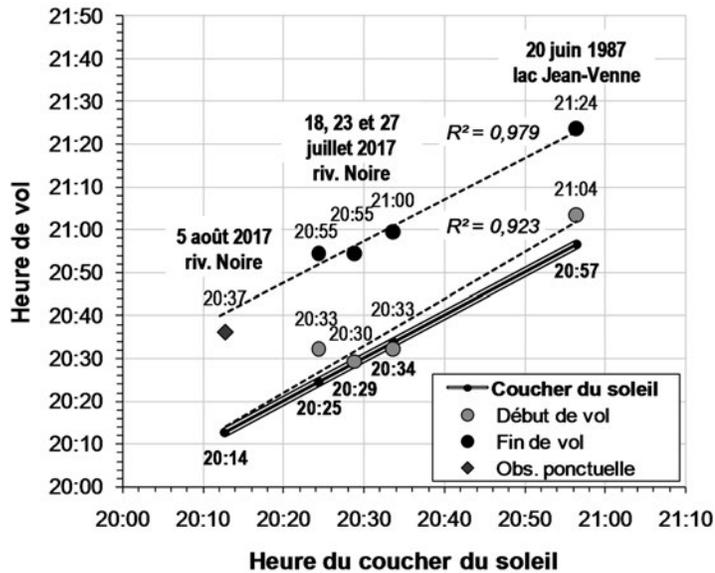


Figure 8. Synchronie du vol crépusculaire de l'épithèque de Provancher (*Neurocordulia yamaskanensis*) avec l'heure du coucher du soleil, selon les observations québécoises à la rivière Noire en Montérégie (présent article) et un relevé au lac Jean-Venne en Outaouais (Ménard, 1987).

Cette première expérience fructueuse permit d'ajuster la tactique de capture des adultes reproducteurs. Le comportement de vol des mâles en patrouille se distingue par sa rapidité ainsi que par son imprévisibilité traduite par des changements brusques de direction, mais surtout, par le fait que les individus se déplacent à quelques centimètres de la surface de l'eau, ce qui rend difficile leur capture au filet depuis le canot. Pour observer ce phénomène à la rivière Noire, alors que l'obscurité s'installe rapidement, une position stationnaire au centre du cours d'eau, éloignée des rives assombries par le couvert des arbres, permet de profiter plus longuement des dernières lueurs du jour. L'observateur se positionne ainsi dans le méandre face à l'horizon ouest-nord-ouest. Ce faisant, le champ de vision qui en résulte permet de déceler à distance les silhouettes volantes, anticiper leurs déplacements et espérer un meilleur succès de capture, permettant de confirmer l'identification de l'espèce.

Le 23 juillet, un effort accru à fouiller les abords riverains de la rivière mène à la collecte de 6 exuvies supplémentaires. Leur état de fragilité et leur position à plus d'un mètre au-dessus du niveau de la rivière permettent d'arguer à une émergence datant déjà de quelques semaines, et possiblement synchronisée avec celle du gomphe épineux (*Dromogomphus spinosus*) et de l'épithèque princière (*Epitheca princeps*), dont les exuvies de ces 2 espèces ont été collectées en grand nombre à la même hauteur sur le talus d'érosion. Puis, une fois le soleil couché à 20 h 29, sous un ciel dégagé, une dizaine d'adultes, exhibant le comportement typique de vol, sont à nouveau observés de 20 h 30 à 20 h 55, avec un seul spécimen mâle capturé à 20 h 43 (figure 7c). Une quatrième visite menée le 27 juillet, après le coucher



Alain Mochon



Alain Mochon



Alain Mochon



Alain Mochon

Figure 9. Deux autres espèces inventoriées à la rivière Noire et représentant un intérêt pour la conservation: A et B) exuvie et adulte de l'épithèque princière (*Epitheca princeps*); C et D) exuvie et adulte du gomphe fléché (*Stylurus spiniceps*).

du soleil à 20 h 25, sous un ciel partiellement dégagé, ajoute l'observation d'une quinzaine d'adultes en patrouille de 20 h 33 à 20 h 55, dont un spécimen mâle fut capturé. Le 5 août suivant marque la dernière apparition de l'espèce, alors qu'un seul individu est observé en vol à 20 h 37, ce qui étend sur plus de 2 semaines la saison de vol jusqu'alors connue au Québec (Savard, 2013).

Les 5 spécimens capturés au cours de ces soirées étaient tous des mâles; aucun tandem mâle-femelle n'a été aperçu. Walker (1915) rapporte observer rarement la présence d'une femelle près de la surface de l'eau, sauf exception lorsqu'elle forme un tandem qui s'envole dans le feuillage des arbres riverains pour la copulation. Le vol de patrouille des mâles était synchronisé avec l'heure du coucher du soleil (figure 8). Cette synchronie serait sous l'influence de rythmes circadiens

endogènes, intimement associés à l'intensité lumineuse prévalente du début à la fin du crépuscule (Corbet, 1999).

Espèces compagnes

Durant les relevés de l'épithèque de Provancher, 14 autres espèces d'odonates ont pu être inventoriées par la collecte d'exuvies et l'observation d'adultes (tableau 1; figure 9). La présence d'exuvies et l'exubérance des comportements reproducteurs de certains adultes, tous observés durant la période précédant le crépuscule, permettent de confirmer l'établissement d'une population au sein de la rivière Noire pour la plupart de ces espèces. Parmi celles-ci, l'agrion arc-en-ciel (*Enallagma antennatum*), l'agrion saupoudré (*E. aspersum*), le gomphe fléché (*Stylurus spiniceps*) et l'épithèque princière (*Epithea princeps*) sont

Tableau 1. Espèces de libellules (Odonata) inventoriées à la rivière Noire (45,483° N.; 72,845° O.), Saint-Pie, secteur du mont Yamaska, Saint-Pie, Montérégie, Québec, du 10 juillet au 14 août 2017.

ESPÈCE		EXUVIES COLLECTÉES ^c	ABONDANCE D'ADULTES ^d	INDICE DE REPRODUCTION ^e	RANG AU QUÉBEC ^f
NOM FRANÇAIS ^a	NOM SCIENTIFIQUE ^b				
ZYGOPTÈRES	ZYGOPTERA				
Caloptérygides	Calopterygidae				
Caloptéryx à taches apicales	<i>Calopteryx æquabilis</i>		A	----	S5
Agrionides	Cœnagrionidae				
Argie svelte	<i>Argia moesta</i>	14	H	EVC-	S4S5
Agrion arc-en-ciel	<i>Enallagma antennatum</i>		F	-VC-	S3
Agrion saupoudré	<i>Enallagma aspersum</i>		G	-V--	S3
Agrion exilé	<i>Enallagma exsulans</i>		I	-VCP	S4S5
Agrion vertical	<i>Ischnura verticalis</i>		H	-VC-	S5
ANISOPTÈRES	ANISOPTERA				
Æschnides	Æshnidae				
Æschne des pénombres	<i>Æshna umbrosa</i>	3		E---	S5
Anax précoce	<i>Anax junius</i>		F	-VCP	S5
Æschne printanière	<i>Basiaeschna janata</i>	1		E---	S5
Æschne vineuse	<i>Boyeria vinosa</i>	1		E---	S5?
Gomphides	Gomphidae				
Gomphe épineux	<i>Dromogomphus spinosus</i>	80		E---	S4S5
Gomphe fléché	<i>Stylurus spiniceps</i>	9	A	E---	S2S3
Macromides	Macromiidae				
Macromie noire	<i>Macromia illinoiensis</i>	3		E---	S4
Cordulides	Corduliidae				
Épithèque princière	<i>Epithea princeps</i>	12	F	EV--	S3S4
Épithèque de Provancher	<i>Neurocordulia yamaskanensis</i>	8	F	EV--	S4

a Nomenclature tirée de Savard (2011).

b Nomenclature tirée de Paulson, D.R. et S.W. Dunkle (2016).

c Nombre d'exuvies collectées.

d Classe d'abondance maximale observée par visite: A = 1 individu observé; B = 2; C = 3 à 5; D = 6 à 10; E = 11 à 20; F = 21 à 50; G = 51 à 100; H = 101 à 200; I > 200.

e Indices de reproduction observés: E = émergence ou exuvie; V = vol de patrouille ou territorial; C = copulation ou tandem; P = ponte.

f Rang subnational de priorité pour la conservation établi par le CCCEP (2016): S1 = Gravement en péril; S2 = En péril; S3 = Vulnérable; S4 = Apparemment en sécurité; S5 = En sécurité.

Dédale taxinomique

La systématique des névroptères était en pleine ébullition au temps de l'abbé Léon Provancher (Wasscher et Dumont, 2013). Plongé dans cette effervescence, le naturaliste de Cap-Rouge fait preuve d'une grande rigueur, joignant le courant des prestigieuses institutions de recherches zoologiques fort engagées à collectionner, décrire et classer les organismes vivants.

Dans sa classification des odonates, Sélys Longchamps éprouva de la difficulté à placer l'épithèque de Say – sous le nom original de *Libellula obsoleta* (Say, 1839) – qu'il qualifia de « très-excentrique » (Sélys, 1871). Par prudence, le taxinomiste n'avait pas voulu établir immédiatement pour elle un nouveau genre, en introduisant provisoirement le taxon *Neurocordulia*, priant son correspondant américain et grand ami, le professeur Hermann August Hagen, d'obtenir d'autres spécimens de ces intrigantes « cordulines » à l'anatomie si particulière – qu'on expliquera plus tard par leur adaptation au vol crépusculaire (Corbet, 1999).

La capture mémorable de l'abbé Provancher au mont Yamaska vint à point nommé. Le professeur Hagen, qui ne cacha pas son enthousiasme devant cette découverte (figure 3), ne parvenait pas à séparer la nouvelle espèce de Provancher, *Epitheca yamaskanensis*, en raison de la mauvaise condition des spécimens types associés à *Epitheca obsoleta*. Il souligna que son spécimen mâle, en excellente condition, « est sûrement le plus intéressant de tous ceux que j'ai vus (traduction libre)¹. »

Au cours de la deuxième semaine du mois d'août 1877, l'abbé Provancher voyagea à Saint-Hyacinthe pour faire des chasses entomologiques dans le voisinage du Séminaire, en compagnie de son fidèle compagnon d'excursion, l'abbé François-Xavier Burque. C'est à cette occasion qu'il captura une épithèque de sexe femelle qu'il associa à sa nouvelle espèce. La libellule devait vraisemblablement provenir de la rivière Yamaska et non du mont du même nom, car les abbés Provancher et Burque ne relatent pas d'expédition au mont Yamaska cette année-là (Savard et collab., 2017).

Dès la fin de l'été, l'abbé Provancher posta au professeur Hagen un lot de 15 spécimens de libellules et autres névroptères, dont la femelle d'épithèque dûment identifiée². Dans sa réponse, datée du 24 octobre 1877, le taxinomiste de Cambridge, Massachusetts, décrit avec passion le spécimen femelle et expose encore une fois la difficulté de valider l'espèce avec le spécimen type de Say (1839), une femelle, et avec celui de Burmeister (1839), un mâle ténéral. Pour y voir plus clair, maintenant qu'il avait en main un couple de chaque espèce, il avisa l'abbé Provancher de son projet de les décrire en détail tout en espérant obtenir plus de spécimens de référence³. Toutefois, l'abbé Provancher ne pourra lui venir davantage en aide, car, après avoir complété sa revue des névroptères du Québec en mai 1878 (Provancher, 1878), il cessa l'étude des odonates pour se consacrer pleinement aux hyménoptères.

Une douzaine d'années plus tard, le professeur Hagen n'obtiendra pas d'autres spécimens correspondant au genre *Neurocordulia* défini par Sélys (1878). Ses descriptions détaillées, accompagnées de dessins anatomiques, paraîtront finalement dans sa dernière publication sur les odonates, où il ne reconnaît pas le genre de Sélys Longchamps :

1. *EPITHECA YAMASKANENSIS*

[...] *The male was collected by the Abbé Provancher in 1875 and the female in 1877. There can be no doubt that both belong to the same species [...].*

2. *EPITHECA OBSOLETA*

[...] *This species is very close to E. yamaskanensis Provancher, of which I have seen the only pair known. Considering the aberrations in the venation in E. obsoleta I believed after my first examination of the male, that both belong to the same species, but the discovery of the female seems to prove the different. [...] I think it will be more prudent to accept them as distinct species until more specimens shall show intermediate forms. (Hagen, 1890)*

C'est 23 ans plus tard, avec la découverte de la naïade de l'épithèque de Provancher au lac Érié, en Ontario, qu'Edmund M. Walker (1877-1969), alors professeur-assistant en zoologie à l'Université de Toronto, valide et classe définitivement l'espèce dans le genre *Neurocordulia* (Walker, 1913). Il faudra attendre la publication de Needham et Westfall (1955) pour une séparation adéquate des espèces confondues historiquement sous le nom de *obsoleta*.

On reconnaît de nos jours 7 espèces appartenant au genre *Neurocordulia*, chacune décrite par un taxinomiste différent (Needham et collab., 2014), ce qui révèle la difficulté de recenser ces cordulides arboricoles et crépusculaires. Deux espèces sont présentes au Québec, l'épithèque de Provancher (*N. yamaskanensis*) et l'épithèque de Brunelle (*N. michaeli*), et possiblement une autre, la fameuse épithèque de Say (*N. obsoleta*), bien répandue dans le Maine et qui pourrait bien se trouver dans la région naturelle des Appalaches québécoises (Charest et Savard, 2014).

1. Carte postale de Hagen à Provancher, oblitérée le 25 avril 1877; Archives de l'Évêché de Chicoutimi, ASC-P04, S01, SS02, Séminaire de Chicoutimi / Fonds Abbé Léon Provancher.

2. Liste de spécimens envoyés à Hagen le 11 septembre 1877; Archives de l'Évêché de Chicoutimi, ASC-P04, S01, SS02, Séminaire de Chicoutimi / Fonds Abbé Léon Provancher.

3. Lettre de Hagen à Provancher, 24 octobre 1877; Archives de l'Évêché de Chicoutimi, ASC-P04, S01, SS02, Séminaire de Chicoutimi / Fonds Abbé Léon Provancher.

des espèces relativement peu rapportées au Québec (Savard, 2011), lesquelles représentent un intérêt pour la conservation (CCCEP, 2016). La présence d'une population du gomphe fléché dans cette section de la rivière Noire est un indicateur de la bonne qualité de l'environnement aquatique et forestier pour cette communauté de libellules (Savard, 2016).

Walker (1915) rapporte la cohabitation au fond de l'eau des naïades de l'épithèque de Provancher avec celles de l'argie svelte (*Argia mæsta*). L'abondance des adultes du zygoptère, constatée à la rivière Noire (tableau 1), étaye cette association.

Conclusion

Plus de 140 ans se sont écoulés depuis la découverte de l'épithèque de Provancher au mont Yamaska. Notre investigation confirme que l'espèce est toujours présente dans la localité type. Elle utilise fort probablement le massif forestier de cette colline montréalaise comme aire de refuge durant l'étape cruciale de maturation des adultes après leur émergence de la rivière Noire. La capture réalisée par l'abbé Provancher, en flanc de montagne, suggère une dispersion favorisée par un vent ascensionnel le long de la pente de la montréalaise. Les mâles reproducteurs ne patrouillent la rivière au ras de l'onde que pendant un court moment après le coucher du soleil, en moyenne 25 minutes, soit pendant la courte période du crépuscule civil, c'est-à-dire la période où le soleil est situé entre 0 et 6 degrés sous la ligne d'horizon (CNRC, 2012). La libellule peut donc de ce fait passer facilement inaperçue pour le non-initié. La collecte d'exuvies, mais aussi l'observation et la capture d'adultes volant au crépuscule, se sont avérées des méthodes efficaces pour détecter l'espèce et ainsi constater son abondance relative dans le tronçon de la rivière investiguée au pied du mont Yamaska. De nouvelles populations pourraient être trouvées dans d'autres tronçons de la rivière Noire ou effluents semblables du fleuve Saint-Laurent, notamment en recherchant les exuvies sur les talus d'érosion et aux culées des ponts, ou en naviguant au centre de la rivière à la tombée du jour pour surprendre les adultes en reproduction.

Le nom français, « épithèque de Provancher », utilisé par les odonatologistes du Québec, perpétue l'hommage à la contribution remarquable de ce naturaliste de terrain qui selon les dires du frère Marie-Victorin (1919) « reste l'un des grands entomologistes du monde entier ». L'abbé Provancher a laissé en héritage un nombre impressionnant de découvertes dans plusieurs branches des sciences naturelles, en particulier la description originale de 965 nouvelles espèces d'hyménoptères (Desmeules, 2004; Perron, 2015). D'ailleurs, outre la libellule, l'excursion au mont Yamaska en 1875 l'avait aussi mené à la découverte de 5 espèces nouvelles d'hyménoptères. L'abbé Provancher en profita pour souligner de belle façon la contribution d'un de ses partenaires d'excursion :

Les Hyménoptères se pressent en grand nombre dans nos boîtes; chaque coup de filet en amène plusieurs espèces, dont quelques-unes nouvelles pour nous. Ce sont [...]; puis un autre superbe Ichneumon non encore décrit, que nous dédierons à notre zélé compagnon de chasse, Mr. G. Clopin (sic), et que nous

appellerons de son nom Ichneumon Clopini, nous en donnons plus loin la description. (Provancher, 1875a, p. 239)

Surpris par les nombreuses et rares captures réalisées au mont Yamaska, notre naturaliste pionnier émet le constat suivant, toujours d'actualité et partagé par l'*Initiative pour un atlas des libellules du Québec* :

Il n'y a pas de doute que si l'on avait un plus grand nombre d'entomologistes de distribué çà et là en divers points de la Province, on enrichit considérablement et en peu de temps la liste des insectes de l'Amérique du Nord, car tous les jours nous trouvons la preuve que notre faune entomologique est à peine à demi explorée. (Provancher, 1875a, p. 242)

Remerciements

Les auteurs désirent remercier pour leur aide documentaire : Jean-Marie Perron, conservateur bénévole des collections Provancher à l'Université Laval, Nathalie Lévesque, archiviste à l'Évêché de Chicoutimi, Dana Fisher, assistante aux collections spéciales du Museum of Comparative Zoology, Ernst Mayr Library, de l'Université d'Harvard et Cecilia Capocchi de la Société d'histoire de la Haute-Yamaska. Nous remercions pour leurs commentaires la rédactrice en chef de la revue *Le Naturaliste canadien*, Denise Tousignant, et son équipe de réviseurs, en particulier Christian Hébert, Bruno Drolet et Agathe Cimon, qui poursuivent admirablement l'œuvre de l'abbé Léon Provancher. ◀

Références

- BRUNELLE, P.M., 2010. Dragonflies and damselflies (Odonata) of the Atlantic maritime ecozone. Dans : MCALPINE, D.F. et I.M. SMITH (édit.). Assessment of species diversity in the Atlantic maritime ecozone. Conseil national de recherche du Canada, Ottawa, p. 333-369.
- CANADA, 1928. Topographic map, Quebec, Granby sheet n° 66. Published by the Geographical section, Department of National Defense, Surveyed in 1912.
- CHAREST, P. et M. SAVARD, 2014. Découverte de l'épithèque de Brunelle au Québec, une libellule secrète. *Le Naturaliste canadien*, 138 (2) : 16-25.
- [CNRC] CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHE DU CANADA, 2012. Calculatrice des levers et des couchers du soleil : explications des données. Disponible en ligne à : <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/services/levers/calculatrice.html>. [Visité le 2018-02-10].
- [CCCEP] CONSEIL CANADIEN POUR LA CONSERVATION DES ESPÈCES EN PÉRIL, 2016. Espèces sauvages 2015 : la situation générale des espèces au Canada. Groupe de travail national sur la situation générale, 128 p.
- CORBET, P.S., 1999. Dragonflies: Behavior and ecology of Odonata. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca, New York, 829 p.
- DESMEULES, M., 2004. L'abbé Léon Provancher : le naturaliste polyvalent. LIDEC, Montréal, 62 p.
- HAGEN, H.A., 1890. Descriptions of some North American Cordulina. *Psyche*, 5 : 367-373.
- HUTCHINSON, R., 2001. Les libellules (Odonata) des grandes rivières du Sud du Québec. *Biodiversity*, 2 (2) : 9-16.
- HUTCHINSON, R. et B. MÉNARD, 1994. *Neurocordulia yamaskanensis* (Provancher) (Odonata Corduliidae) : répartition et notes biologiques. *Fabriques*, 19 : 73-79.
- HUTCHINSON, R. et B. MÉNARD, 2016. Naïades et exuvies des libellules du Québec : clé de détermination des genres. *Entomofaune du Québec*, Saguenay, 71 p.
- MARIE-VICTORIN, Frère, 1919. Les précurseurs : l'abbé Léon Provancher. *L'action française*, 3 (9) : 385-393.

- [MDFW] MASSACHUSETTS DIVISION OF FISHERIES AND WILDLIFE, 2015. Stygian Shadowdragon (*Neurocordulia yamaskanensis*) Fact sheet. Natural Heritage and Endangered Species Program, 3 p. Disponible en ligne à : <http://www.mass.gov/eea/docs/dfg/nhosp/species-and-conservation/nhfacts/neurocordulia-yamaskanensis.pdf>. [Visité le 2017-12-08].
- MÉNARD, B., 1987. Captures d'odonates dans la vallée de l'Outaouais et dans la Haute-Gatineau en 1987. *Fabriques*, 13 : 51-56.
- MÉNARD, B., 1996. Liste annotée des odonates de la vallée de l'Outaouais. *Fabriques*, 21 : 29-61.
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2018. Expertise hydrique et barrages : le barrage d'Émileville (X0005774). Disponible en ligne à : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages/default.asp>. [Visité le 2018-02-09].
- NEEDHAM, J.G. et M.J. WESTFALL, 1955. A manual of the Dragonflies of North America (Anisoptera). University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 615 p.
- NEEDHAM, J.G., M.J. WESTFALL, Jr. et M.L. MAY, 2014. Dragonflies of North America: The Odonata (Anisoptera) fauna of Canada, the continental United States, northern Mexico and the Greater Antilles. 3^e édition, Scientific publishers, Gainesville, 657 p.
- [OBV Yamaska] ORGANISME DE BASSIN VERSANT DE LA YAMASKA, 2014. Plan directeur de l'eau, 2^e version. Organisme de bassin versant de la Yamaska, 409 p.
- PAULSON, D.R., 2011. Dragonflies and damselflies of the East. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 538 p.
- PAULSON, D.R. et S.W. DUNKLE, 2016. A checklist of North American Odonata: Including English name, etymology, type locality, and distribution. JOHNSON, J. (édit.). Occasional paper n° 56 (révisé complètement en mars 2009, février 2012 et octobre 2016), Slater Museum of Natural History, University of Puget Sound, Tacoma, 90 p.
- PERRON, J.-M., 2010. Qui étaient-ils? Les naturalistes honorés par Provancher. *Les Cahiers Léon-Provancher*, n° 2, 32 p.
- PERRON, J.-M., 2012. La Faune entomologique du Canada de Léon Provancher. 1 – Ses collections d'insectes : première et deuxième collections. *Les Cahiers Léon-Provancher*, n° 4, 220 p.
- PERRON, J.-M., 2014. La Faune entomologique du Canada de Léon Provancher. 2 – Ses collections d'insectes : collection Provancher de Lévis. *Les Cahiers Léon-Provancher*, n° 5, 130 p.
- PERRON, J.-M., 2015. L'abbé Léon Provancher, auteur et vulgarisateur scientifiques du XIX^e siècle. Présentation et analyse. *Les Cahiers Léon-Provancher*, n° 6, 52 p.
- PILON, J.-G. et D. LAGACÉ, 1998. Les odonates du Québec : traité faunistique. Entomofaune du Québec, Chicoutimi, 367 p.
- PROVANCHER, L., 1875a. Une excursion à St. Hyacinthe. *Le Naturaliste canadien*, 7 : 205-219; 232-247.
- PROVANCHER, L., 1875b. Description de plusieurs insectes nouveaux. *Le Naturaliste canadien*, 7 : 247-251.
- PROVANCHER, L. 1877. Faune canadienne : les insectes Névroptères. *Le Naturaliste canadien*, 9 : 38-43; 84-90.
- PROVANCHER, L. 1878. Petit faune entomologique du Canada et particulièrement de la province de Québec : troisième ordre, les Névroptères. Typographie de C. Darveau, Québec, p. 55-157.
- ROBERT, A., 1963. Les libellules du Québec. Service de la faune, Bulletin 1, ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Province de Québec, 223 p.
- SAVARD, M., 2011. Atlas préliminaire des libellules du Québec (Odonata). Initiative pour un atlas des libellules du Québec, Entomofaune du Québec, Saguenay, 53 p.
- SAVARD, M., 2013. Dates record de vol des 144 espèces de libellules inventoriées au Québec (Odonata). Initiative pour un atlas des libellules du Québec, Entomofaune du Québec, Saguenay, 6 p.
- SAVARD, M., 2016. Découverte du gomphé fléché dans les Appalaches québécoises. *Le Naturaliste canadien*, 140 (1) : 26-31.
- SAVARD, M., M. LAROCHELLE et J.-M. PERRON, 2017. Découverte de la cordulie tricoteuse (*Somatochlora filosa*) au Canada et reconsidération de la présence de la cordulie linéaire (*Somatochlora linearis*) au Québec, deux espèces rhéophiles de libellules. *Le Naturaliste canadien*, 141 (2) : 42-52.
- SÉLYS LONGCHAMPS, E. de, 1871. Synopsis des cordulines. *Bulletins de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique*, 31 : 238-316; 519-565.
- SÉLYS LONGCHAMPS, E. de, 1878. Secondes additions au synopsis des cordulines. *Bulletins de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique*, 45 : 183-222.
- WALKER, E.M., 1913. New nymphs of Canadian Odonata. *Canadian Entomologist*, 45 : 163-170.
- WALKER, E.M., 1915. Notes on the Odonata of the vicinity of Go Home Bay, Georgian Bay, Ontario. *Contributions to Canadian Biology*, 1911-1914, Fascicule 2. Supplement to the annual report of the Department of Marine and Fisheries, Fisheries Branch, Ottawa, 47 : 53-94.
- WALKER, E.M. et P.S. CORBET, 1975. The Odonata of Canada and Alaska, Volume 3, part III: The Anisoptera, three families. University of Toronto Press, Toronto, 307 p.
- WASSCHER, M.Th. et H.J. DUMONT, 2013. Life and work of Michel Edmond de Sélys Longchamps (1813-1900), the founder of odonatology. *Odonatologica*, 42 (4) : 369-402.

La tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy : quatre décennies de changements floristiques

Florence Blanchard, Stéphanie Pellerin* et Monique Poulin

Résumé

L'objectif de cette étude était de reconstituer les changements floristiques survenus dans la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy (ville de Québec) entre 1978 et 2015, notamment à la suite du processus de boisement qui semble s'opérer. Les objectifs spécifiques étaient d'identifier les espèces dont la fréquence et l'abondance ont le plus changé et d'évaluer comment ces changements ont modifié la composition floristique globale de la tourbière. Trente-cinq placettes échantillonnées en 1978 ont été rééchantillonnées en 2015. La flore de la tourbière est beaucoup plus riche maintenant qu'en 1978 (hausse de 152 % de la richesse spécifique) et le cortège floristique des deux années diffère fortement (indice de dissimilarité de Sørensen de 0,62). Les espèces typiques des milieux humides sont celles qui ont le plus diminué en fréquence et en abondance, alors que celles associées à des habitats forestiers ont augmenté de façon importante. Une diversification biotique (hausse de la diversité bêta) a également été observée, ce qui indique que les assemblages floristiques sont désormais plus différents d'une placette d'échantillonnage à l'autre qu'en 1978. Des actions pouvant être prises pour assurer la protection de la tourbière sont discutées.

MOTS CLÉS: boisement, diversité bêta, érable rouge, richesse floristique, tourbière ombrotrophe

Abstract

The present study aimed to reconstruct the floristic evolution of the bog at the Base de plein air de Sainte-Foy (Québec City, Québec, Canada) between 1978 and 2015, particularly considering the tree encroachment apparently occurring at the site. The specific objectives were to identify which species had shown the greatest change in frequency and abundance, and to assess how such modifications had altered the overall floristic composition of the bog. Thirty-five plots sampled in 1978 were re-sampled in 2015. There was a 152% increase in plant richness between the two sample dates, and the plant assemblages were markedly different (Sørensen dissimilarity index of 0.62). There was a notable decrease in the frequency and abundance of typical wetland associated species over time. By contrast, forest-associated species increased significantly. Biotic differentiation (an increase in beta diversity) was also observed, indicating that plant assemblages differed more between sampling plots in 2015 than they did in 1978. Management approaches for the protection of the bog are discussed.

KEYWORDS: beta diversity, ombrotrophic peatland, plant richness, red maple, tree encroachment

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. Au Québec, elles couvrent environ 161 000 km², ce qui représente près de 85 % de la superficie de tous les milieux humides de la province (L. Rochefort et collab., non publié). Bien que la très grande majorité des tourbières de la province soient encore à l'état naturel, celles dans les régions densément peuplées, notamment dans les basses-terres du Saint-Laurent, sont soumises à de nombreuses pressions associées au développement urbain et aux industries agricoles et forestières (Pellerin et Poulin, 2013; Poulin et collab., 2004). Dans certaines régions, jusqu'à 60 % de la superficie de tourbières est perturbée (Pellerin, 2003). Même les tourbières qui ne subissent pas l'influence directe des activités humaines peuvent se dégrader. Plusieurs études faites au Québec et ailleurs dans le monde ont montré des changements récents importants dans la flore et la faune des tourbières naturelles qui sont isolées depuis plusieurs années au sein d'une matrice agricole ou d'un tissu urbain (p. ex. :

Lachance et collab., 2005; Linderholm et Leine, 2004; Pasquet et collab., 2015; Pellerin et Lavoie, 2003).

Le boisement, c'est-à-dire une hausse de la densité, de la couverture ou de la biomasse des espèces ligneuses, sans qu'il y ait eu plantation d'arbres, est l'un des changements les plus importants observés dans la flore des tourbières des régions habitées (p. ex. : Bart et collab., 2016; Linderholm et Leine, 2004; Pellerin et Lavoie, 2003; Talbot et collab., 2009), et l'un des principaux facteurs de la perte de biodiversité dans les milieux humides (Warner et collab., 2007). Ce boisement est souvent associé au drainage, à l'eutrophisation liée à la

Florence Blanchard est étudiante de premier cycle en sciences biologiques à l'Université de Montréal.

Stéphanie Pellerin est professeure associée à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal et du Jardin botanique de Montréal.

stephanie.pellerin.1@umontreal.ca

Monique Poulin est professeure titulaire au département de Phytologie de l'Université Laval.

pollution atmosphérique, notamment aux dépôts azotés, ou au réchauffement climatique. Ce boisement engendré par des facteurs humains se distingue du boisement lié à une succession naturelle par sa rapidité, son intensité et ses répercussions majeures sur les communautés végétales. À titre d'exemple, dans deux tourbières de la Montérégie (Small et Large Tea Field), la couverture forestière est passée de 26 à 51 % entre 1983 et 2010 (gain de 280 ha de forêt), ce qui a entraîné une diminution importante de la fréquence et de l'abondance des espèces tourbicoles et une prolifération des espèces d'affinité terrestre, souvent d'origine exotique (Pasquet et collab., 2015). Les études portant sur les conséquences du boisement sur la flore des tourbières se sont essentiellement intéressées aux changements de richesse en espèces (p. ex. : Pasquet et collab., 2015; Tousignant et collab., 2010); en contrepartie, les conséquences du boisement sur la diversité bêta, soit la variation en espèces entre les sites d'un secteur donné, demeurent peu connues. Cette mesure de la diversité est maintenant reconnue comme un indicateur important de la perte de la biodiversité à diverses échelles spatiales (Gering et collab., 2003).

L'objectif de cette étude était de caractériser les modifications survenues au sein de la flore de la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy au cours des 4 dernières décennies. Cette tourbière est isolée dans la trame urbaine de

la ville de Québec et montre des signes de boisement depuis quelques années (figure 1b et c). En particulier, nous voulions savoir quelles espèces avaient le plus diminué ou augmenté en fréquence et en abondance, comment la composition floristique globale de la tourbière avait changé et quels étaient les effets de ces changements sur la diversité bêta du site.

Territoire d'étude

La base de plein air de Sainte-Foy est un parc municipal situé dans l'arrondissement de Sainte-Foy–Sillery–Cap-Rouge de la ville de Québec, plus précisément à l'intersection des autoroutes 40 (Félix-Leclerc) et 540 (Duplessis). Ce site de 135 ha offre plusieurs activités récréotouristiques qui se concentrent au pourtour de deux lacs artificiels créés après l'abandon d'anciennes gravières. La base de plein air comporte également divers écosystèmes naturels ou semi-naturels, dont principalement une érablière rouge, des peuplements forestiers mixtes de bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis*), pins blancs (*Pinus strobus*) et mélèzes laricins (*Larix laricina*), des friches arbustives et herbacées, et une tourbière ombrotrophe.

La tourbière (46° 47' 36" N. et 71° 19' 59" O.) est située dans la section nord-est de la base de plein air, entre le grand lac Laberge et la gare de triage Sainte-Foy (figure 1a). D'une superficie d'environ 5 ha, elle a un dépôt de tourbe d'une

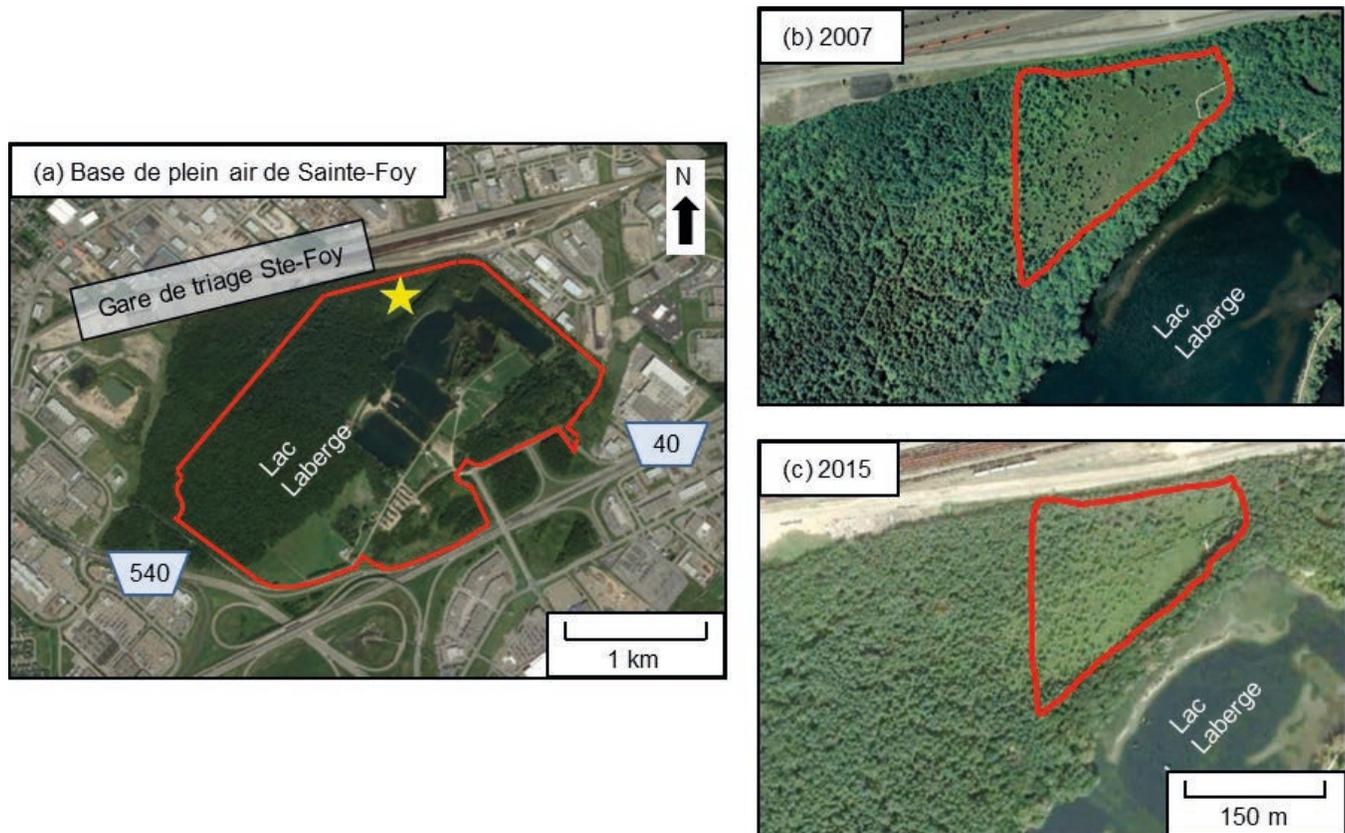


Figure 1. Emplacement de la base de plein air de Sainte-Foy (a). La ligne rouge délimite la base de plein air et l'étoile jaune indique l'emplacement de la tourbière (Image : Google, DigitalGlobe). Vue rapprochée du secteur d'étude délimité par la ligne rouge (b) en 2007 (Google, Aéro-Photo Inc) et (c) en 2015 (Image : Google, DigitalGlobe). La densification du couvert boisé entre 2007 et 2015 est visible dans la portion centrale de la tourbière.

épaisseur d'au moins 200 cm dans la partie centrale (Larouche, 1979). Elle repose sur des argiles marines et des sables fluviatiles mis en place après la déglaciation et lors de l'épisode de la mer de Goldthwait (Lavoie et collab., 2010). Sa formation remonterait à 6 300 ans avant aujourd'hui (Larouche, 1979). Des analyses macrofossiles réalisées sur une carotte de tourbe ont montré que les conditions ombrotrophes se sont rapidement mises en place après la formation initiale de la tourbière (soit 500 ans plus tard), et ont persisté jusqu'à aujourd'hui (Larouche, 1979). Les assemblages floristiques auraient peu changé au cours de cette phase, demeurant typiques des tourbières à sphaignes et éricacées (Larouche, 1979).

Méthodes

Inventaires floristiques

La flore de la tourbière a d'abord été échantillonnée en 1978 par Darveau (1979). Le secteur d'étude était situé dans la portion est de la tourbière (figure 1b), dans ce qui était décrit à l'époque comme une tourbière à sphaignes. L'échantillonnage a été fait à l'aide de 38 placettes positionnées le long de 6 transects orientés nord-sud et espacés de 50 m. Les placettes d'inventaire ont été stratifiées le long des transects en tenant compte des communautés floristiques. La superficie de la majorité des placettes était de 4 m² (2 × 2 m), bien que certaines, en bordure du site, aient été plus petites (1 ou 2 m²). Le recouvrement horizontal de toutes les espèces végétales présentes dans chacune des placettes avait été évalué selon 6 classes, selon qu'il représentait < 1 %, 1-5 %, 6-25 %, 26-50 %, 51-75 %, ou 76-100 % de la superficie de la placette. Le pourcentage de la superficie de chaque placette recouverte par les différentes strates végétales (arborée basse : 5-10 m; arbustive haute : 2,5-5 m; arbustive basse : 0-2,5 m; herbacée haute : ≥ 0,6 m; herbacée basse; muscinale : mousse au sol) a aussi été évalué. En plus des données floristiques, chacun des relevés comprenait la date de l'inventaire, l'altitude, la pente et l'exposition de la placette, la topographie des environs ainsi qu'une description sommaire du groupement végétal et des perturbations dont les traces sont visibles à proximité. Des données sur l'épaisseur du dépôt de tourbe, le type d'humus, le pH et le niveau de la nappe phréatique étaient aussi disponibles pour quelques placettes.

Nous avons numérisé et géoréférencé la carte de l'emplacement des placettes d'inventaire produite par Darveau (1979) à l'aide de Quantum GIS (Open Source Geospatial Foundation Project, Beaverton, Oregon, États-Unis). Nous avons ensuite extrait la latitude et la longitude de chacune des placettes du système d'informations géographiques. À l'été 2015, nous avons localisé les placettes sur le terrain à l'aide d'un système de positionnement global, puis nous avons rééchantillonné les communautés végétales selon la même méthodologie qu'en 1978. Trois des placettes en bordure de la tourbière avaient un dépôt de tourbe de moins de 30 cm; nous ne les avons donc pas rééchantillonnées. En plus des coordonnées géographiques, les diverses informations disponibles dans les relevés de 1978 (p. ex. : distance d'un sentier de randonnée ou d'un canal de drainage) ont été utilisées pour

localiser les placettes d'inventaire le plus près possible de leur emplacement d'origine. Le fait que les placettes ne soient pas positionnées exactement au même endroit peut entraîner une variabilité dans les données. Toutefois, il est peu probable que cette variabilité entraîne un biais systématique des tendances générales (Kapfer et collab., 2017; Kopecký et Macek, 2015; McCune et Vellend, 2013; Savage et Vellend, 2015).

Analyses

Nous avons d'abord uniformisé la nomenclature des espèces inventoriées en 1978 à celle des espèces de 2015. Pour ce faire, nous avons utilisé la base de données VASCAN (Brouillet et collab., 2016) pour les espèces vasculaires et la Flore des bryophytes du Québec-Labrador (Faubert 2012, 2013, 2014) pour les bryophytes. Nous avons aussi utilisé ces sources bibliographiques pour identifier l'origine (indigène ou exotique) de chaque espèce. Nous avons ensuite documenté l'affinité pour les milieux humides ainsi que la tolérance à l'ombre de chaque espèce vasculaire. Nous avons obtenu l'affinité des espèces pour les milieux humides de Bazoge et collab. (2014), Lapointe (2014) et de la base de données PLANTS (USDA et NRSC, 2016). Nous avons obtenu la tolérance à l'ombre de Brice et collab. (2016) et des différentes sources qui y sont citées. Nous avons traité les 5 taxons qui n'ont été identifiés qu'au genre (p. ex., *Fragaria* sp.) comme des espèces individuelles dans les analyses statistiques.

Nous avons évalué les changements dans la fréquence d'apparition des espèces (nombre de placettes où chaque espèce est présente) à l'aide de tests de chi-carré, en utilisant seulement les 35 parcelles rééchantillonnées pour les deux années. Nous avons analysé seulement les 28 espèces ayant une fréquence d'au moins 5 placettes dans au moins 1 année. Nous avons évalué les changements dans le recouvrement moyen des espèces à l'aide de tests de Wilcoxon-Mann-Whitney pour données appariées. Nous avons analysé seulement les 31 espèces ayant un recouvrement moyen supérieur à 1 % dans au moins 1 année. Dans les deux cas, nous avons testé les espèces une par une. Nous avons utilisé un seuil de probabilité de 0,01 pour tenir compte des comparaisons multiples.

Nous avons évalué la différence floristique globale entre les années 1978 et 2015 à l'aide de l'indice de dissimilarité de Sørensen (Sørensen, 1948). Cet indice varie de 0 à 1, une valeur de 0 signifiant une similitude totale et une valeur de 1, une dissimilarité totale. Nous avons calculé la diversité bêta pour chaque année à l'aide d'un test d'homogénéité pour les dispersions multivariées (Anderson et collab., 2006). Premièrement, nous avons créé une matrice de distance site par site pour calculer le centroïde de chaque groupe de sites (les groupes correspondent aux années d'échantillonnage et les sites, aux placettes d'inventaires). Ensuite, nous avons calculé la distance de chaque site au centroïde de son groupe (diversité bêta). Enfin, nous avons testé si la dispersion (variance) des sites au centroïde différait entre les deux années grâce à une analyse de variance (Anova) avec 9999 permutations. Nous avons calculé la matrice de distance site par site avec les valeurs de recouvrement des espèces (médiane des classes) à l'aide de la distance

Hellinger (Legendre et De Cáceres, 2013). Pour évaluer si un changement de composition était survenu entre les deux années, nous avons testé les différences de position des centroïdes en utilisant une analyse de variance par permutations (Permanova; Anderson, 2001). Nous avons évalué la significativité à l'aide de 9999 permutations avec une statistique pseudo-*F*. Les résultats sont illustrés à l'aide d'une analyse en coordonnées principales créée à partir de la matrice de distance.

Résultats

Richesse floristique et caractéristiques des espèces

Vingt-neuf espèces (24 vasculaires et 5 bryophytes) ont été identifiées en 1978, contre 73 espèces (54 vasculaires et 19 bryophytes) en 2015 (voir la liste complète des taxons en annexe), ce qui correspond à une augmentation de 152 % de la richesse floristique globale de la tourbière. Malgré cette hausse importante, la moyenne du nombre d'espèces par placette a légèrement diminué, passant de 9 espèces en 1978 à 8 espèces en 2015. Sur les 29 espèces présentes en 1978, 9 n'ont pas été retrouvées en 2015, soit 2 arbustes, 5 herbacées et 2 bryophytes. En revanche, 53 espèces sont apparues depuis 1978, soit 3 arbres, 11 arbustes, 23 herbacées et 16 bryophytes.

Toutes les espèces vasculaires de 1978 étaient indigènes, tandis que 2 espèces d'origine exotique ont été trouvées en 2015, soit la grande bardane (*Arctium lappa*) et l'épervière de Savoie (*Hieracium sabaudum*). La grande bardane n'était présente que dans 1 placette (recouvrement de 15%), alors que l'épervière de Savoie était présente dans 3 placettes (recouvrement toujours inférieur à 3%). En 1978, près de 80 % des espèces étaient obligatoires ou facultatives des milieux humides (figure 2). En 2015, ces mêmes espèces ne représentaient plus que 41 % de

la flore totale. En 1978, 13 % des espèces étaient tolérantes à l'ombre, contre 30 % en 2015 (figure 2). Les espèces vasculaires disparues entre 1978 et 2015 étaient essentiellement des espèces obligatoires des milieux humides et intolérantes à l'ombre. À l'inverse, environ le tiers des nouvelles espèces étaient associées aux milieux terrestres (facultative-terrestre ou terrestre) et étaient considérées comme tolérantes à l'ombre.

Fréquence et recouvrement des espèces

Les espèces les plus fréquentes en 1978 (présentes dans plus de 75 % des placettes) étaient, en ordre décroissant : le cassandre calyculé (*Chamaedaphne calyculata*), la sphaigne trompeuse (*Sphagnum fallax*), la sphaigne de Magellan (*Sphagnum magellanicum*) et le kalmia à feuilles d'andromède (*Kalmia polifolia*). En 2015, les 3 espèces les plus fréquentes n'étaient présentes que dans environ 25 % des placettes; il s'agit du kalmia à feuilles étroites (*Kalmia angustifolia*), du mélèze laricin et de l'érable rouge (*Acer rubrum*).

De 1978 à 2015, la fréquence de 8 espèces a augmenté de façon significative, alors que celle de 9 espèces a diminué (figure 3). Les baisses de fréquence ont été en général plus importantes que les hausses. L'érable rouge est l'espèce qui a le plus augmenté en fréquence, tandis que la sphaigne trompeuse et la sphaigne de Magellan ont pratiquement disparu. Ces 2 espèces étaient présentes dans une seule placette en 2015 alors qu'elles avaient été identifiées respectivement dans 31 et 29 placettes en 1978.

En 1978, 3 espèces avaient un recouvrement moyen de plus de 25 %, soit en ordre décroissant : la sphaigne de Magellan, le cassandre calyculé et la sphaigne trompeuse. Par contraste, en 2015, seul l'érable rouge avait un tel recouvrement. L'abondance de 4 espèces a augmenté de façon significative,

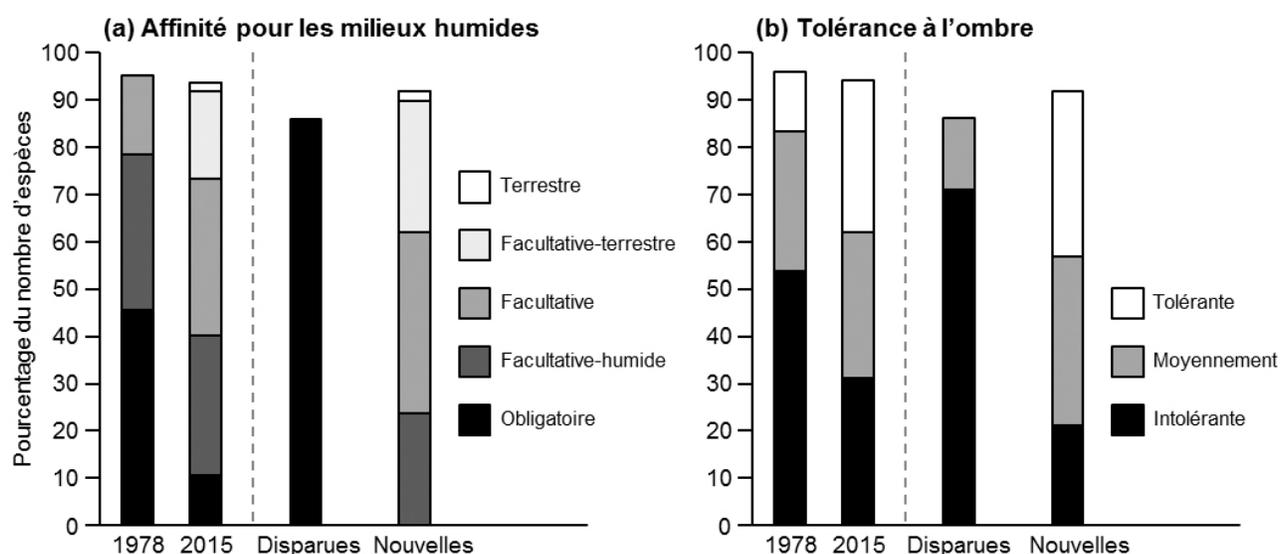


Figure 2. Caractéristiques des espèces identifiées en 1978 et en 2015 dans la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy, en ce qui concerne leur affinité pour les milieux humides (a) et leur tolérance à l'ombre (b). Ces caractéristiques sont également présentées pour les espèces disparues entre 1978 et 2015 et les nouvelles espèces apparues pendant la même période. Le total n'atteint pas 100 %, car les espèces pour lesquelles ces informations étaient manquantes ne sont pas présentées.

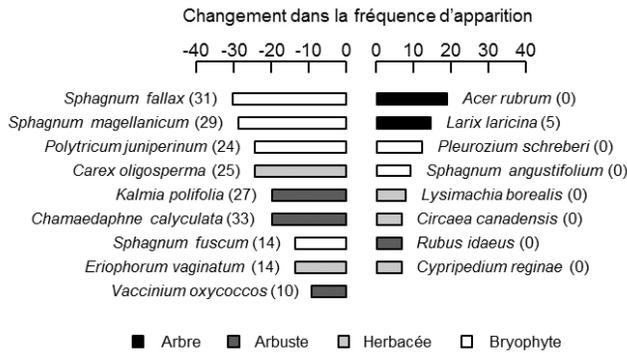


Figure 3. Changement dans la fréquence d'apparition des espèces (en nombre de placettes d'échantillonnage) dans la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy entre 1978 et 2015. Le nombre de placettes où chaque espèce était présente en 1978 est inscrit entre parenthèses. Seules les espèces avec un changement significatif ($p \leq 0,01$) sont présentées.

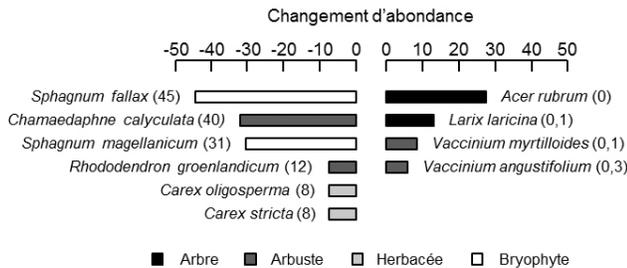


Figure 4. Changement dans l'abondance des espèces (en pourcentage moyen de recouvrement) dans la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy entre 1978 et 2015. Le recouvrement moyen de chaque espèce en 1978 est inscrit entre parenthèses. Seules les espèces avec un changement significatif ($p \leq 0,01$) sont présentées.

tandis qu'elle a diminué pour 6 espèces (figure 4). Les espèces qui ont le plus augmenté (p. ex. : érable rouge, mélèze laricin) ou diminué (p. ex. : sphaigne trompeuse, cassandre calyculé) en abondance sont à peu près les mêmes que celles qui ont le plus augmenté ou diminué en fréquence.

L'augmentation en fréquence et en abondance des espèces arborescentes, surtout l'érable rouge et le mélèze laricin, et la diminution de plusieurs éricacées et sphaignes se reflètent dans la physionomie des groupements végétaux. En 1978, 11 % des placettes d'inventaire avaient une physionomie herbacée et 89 %, une physionomie arbustive basse. La communauté floristique la plus étendue était alors l'éricaçaie à cassandre calyculé et à sphaignes (Darveau, 1979). En 2015, il ne restait plus que 3 % de parcelles avec une physionomie herbacée et 40 % avec une physionomie arbustive. Les placettes restantes (57 %) avaient une physionomie arborescente et étaient surtout constituées de mélézins à éricacées.

Composition floristique et diversité bêta

Un indice de dissimilarité de Sørensen de 0,62 a été obtenu pour l'ensemble de la flore de la tourbière. Cette valeur

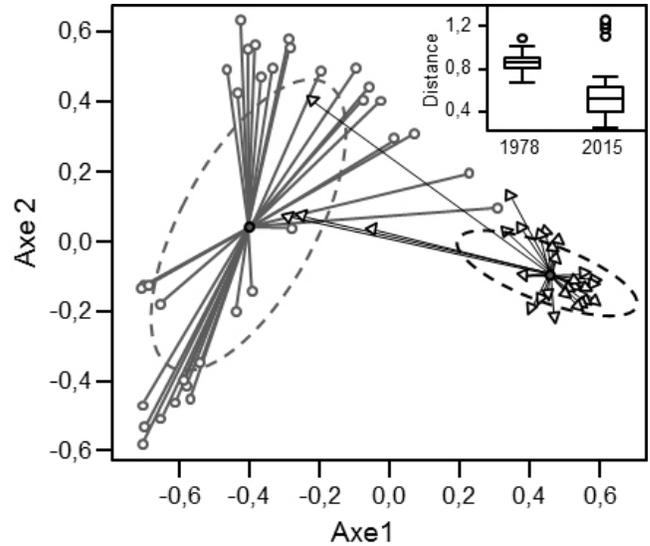


Figure 5. Dispersion multivariée (diversité bêta) des placettes d'échantillonnage en 1978 (triangles) et 2015 (cercles). Les résultats sont présentés à l'aide des deux premiers axes d'une analyse en coordonnées principales. Les ovales pointillés représentent les ellipses des écarts-types. Les diagrammes à moustaches (en mortaise) représentent la variance des distances des placettes par rapport au centroïde pour chaque année. Les lignes supérieure, centrale et inférieure de la boîte à moustaches correspondent respectivement au 75^e, 50^e et 25^e percentile. Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1,5 fois l'espace interquartile (la distance entre le 1^{er} et le 3^e quartiles). Les valeurs à l'extérieur des moustaches sont représentées par des points, et représentent généralement des valeurs extrêmes.

indique que des changements importants de composition sont survenus au cours des 37 années séparant les deux inventaires. Ces changements se sont répercutés dans la diversité bêta de la tourbière. En effet, dans l'analyse d'homogénéité pour les dispersions multivariées, la distance au centroïde des 35 placettes en 2015 était significativement plus grande qu'en 1978 ($F = 27,32$; $p = 0,001$; figure 5), indiquant que la composition des communautés végétales était désormais plus différente d'une placette à l'autre qu'elle ne l'était à la fin des années 1970. La position des centroïdes des deux années d'échantillonnage était également significativement différente ($F = 18,75$; $p = 0,001$; figure 5), ce qui indique un renouvellement important des espèces entre les deux années.

Discussion

Une tourbière floristiquement plus riche et plus boisée

Le rééchantillonnage de la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy a permis de montrer que sa flore a subi des changements très importants sur une période de 37 ans. D'abord, elle est beaucoup plus riche en espèces qu'en 1978 (hausse de 152 % de la richesse spécifique). Ensuite, le cortège floristique des deux années d'étude diffère grandement (indice

de dissimilarité de Sørensen de 0,62). Les espèces tourbicoles, ou de façon plus générale associées aux milieux humides, ont diminué en fréquence et en abondance dans le temps, alors que celles associées à des habitats terrestres, surtout forestiers, ont augmenté.

L'ensemble des données obtenues confirme que la tourbière subit présentement un phénomène de boisement. En effet, l'érable rouge et le mélèze laricin ont augmenté en fréquence et en abondance, alors que plusieurs espèces héliophiles typiques des tourbières ouvertes, comme le cassandre calyculé et la sphaigne de Magellan, ont beaucoup diminué. Le boisement semble par ailleurs se propager de la bordure vers le centre de la tourbière, comme le révèle l'observation de photographies aériennes et d'images satellites entre 2007 et 2015 (figure 1b et c) et la corrélation entre l'abondance de l'érable rouge et la distance à la bordure de la tourbière ($R^2 = 0,17$; $p < 0,05$). Contrairement à ce qui est observé dans les tourbières de la région de Montréal (Pasquet et collab., 2015; Tousignant et collab., 2010), le boisement de la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy et les conditions hydrologiques plus sèches associées ne semblent pas avoir favorisé de façon marquée l'installation d'espèces exotiques. En effet, seulement deux espèces d'origine exotique ont été observées en 2015 (la grande bardane et l'épervière de Savoie), et ce, dans peu de placettes et avec une faible abondance. Enfin, le boisement semble avoir favorisé une augmentation de la richesse de la strate muscinale, qui a presque quadruplé depuis 1978. Plusieurs des nouvelles espèces de bryophytes, telles que la buissonnette commune (*Brachythecium rutabulum*), le platygyre rampant (*Platygyrium repens*) et l'hypne plumeuse (*Ptilium crista-castrensis*), sont généralement associées à la présence de débris ligneux ou à des conditions ombragées (Faubert, 2012; 2013; 2014).

Une diversification floristique

Les activités humaines affectant de façon directe ou indirecte les écosystèmes provoquent souvent une homogénéisation biotique, soit une hausse de la similarité de la biodiversité dans l'espace et le temps ou plus précisément une baisse de la diversité bêta (McKinney et Lockwood, 1999). Dans le cas présent, nous avons plutôt observé une diversification biotique, soit une hausse de la diversité bêta. Ceci signifie que les assemblages floristiques de la tourbière varient davantage d'une placette d'échantillonnage à l'autre maintenant qu'en 1978. Ce phénomène de diversification est d'ailleurs souvent observé à fine échelle spatiale pour les écosystèmes isolés dans une trame urbaine (p. ex., Brice et collab., 2017). Les tourbières ombrotrophes sont des écosystèmes habituellement pauvres en espèces végétales (Warner et Asada, 2006). Leur diversification serait associée à une perte d'intégrité écologique, surtout lorsque les espèces colonisatrices sont non tourbicoles. Dans les régions tempérées, les tourbières ombrotrophes favorisent habituellement la biodiversité régionale, car leur flore d'appartenance boréale contraste fortement avec les habitats forestiers environnants (Ingerpuu et collab., 2001; Moore,

2002). L'augmentation du couvert boisé dans les tourbières pourrait donc éventuellement entraîner une homogénéisation biotique avec les milieux forestiers à une échelle régionale. Cela reste toutefois à vérifier.

Causes des changements floristiques

Les données disponibles dans cette étude ne permettent pas d'identifier de façon précise les facteurs responsables des changements observés. Toutefois, si nous tenons compte des résultats de plusieurs études sur le sujet (p. ex.: Bart et collab., 2016; Berg et collab., 2009; Linderholm et Leine, 2004; Pellerin et Lavoie, 2003; Talbot et collab., 2009), il nous semble très plausible que les changements aient été, en partie, initiés par un assèchement des conditions hydrologiques de la surface de la tourbière. Bien qu'aucun canal de drainage ne soit présent dans la tourbière, un fossé est situé à sa bordure ouest. Nous n'avons aucune information sur la capacité drainante de celui-ci, mais il pourrait contribuer en partie au drainage de la tourbière, surtout au printemps, lorsque les pertes en eau dans les tourbières par des canaux de drainage sont les plus importantes (Hugron et collab., 2013). L'intensification de l'utilisation du territoire dans le bassin versant de la tourbière pourrait aussi avoir favorisé son assèchement en imperméabilisant son aire de drainage. L'augmentation des surfaces imperméables (p. ex.: stationnements, routes, etc.) limite l'infiltration des eaux pluviales dans le sol et les dévie rapidement vers des systèmes de drainage artificiel, diminuant ainsi la recharge de la nappe phréatique (White et Greer, 2006). L'imperméabilisation des surfaces induit également la création d'îlots de chaleur qui provoquent des stress hydriques et thermiques qui favorisent les espèces tolérantes à la sécheresse au détriment des espèces de milieux humides (Bergeron et Pellerin, 2014; Williams et collab., 2015). Les changements climatiques actuels sont aussi susceptibles d'avoir favorisé l'assèchement en réduisant les apports en eau lors de la saison estivale et en favorisant l'évaporation et l'évapotranspiration (Heijmans et collab., 2013).

Le boisement et les changements dans l'abondance et la fréquence de certaines espèces pourraient aussi avoir été favorisés par des modifications des conditions physicochimiques de la tourbe associées à une hausse des contaminants et des poussières provenant des zones industrielles et résidentielles situées à proximité (Berendse et collab., 2001; Ireland et Booth, 2012). Une augmentation de l'ombre liée à la croissance des espèces ligneuses est aussi un facteur vraisemblable des changements observés dans les strates inférieures compte tenu de la hausse du nombre et de l'abondance des espèces tolérantes à l'ombre (sciaphiles). Globalement, il est peu probable qu'une des causes mentionnées précédemment soit, à elle seule, responsable de tous les changements observés. En effet, l'accumulation des perturbations ou des stress dans le temps, comme cela a déjà été démontré pour les tourbières du Bas-Saint-Laurent (Pellerin et Lavoie, 2003), est probablement l'élément déclencheur.

Implications pour la gestion de la tourbière

Peu importe les facteurs responsables du boisement et des autres changements observés, il est peu probable que ce phénomène s'inverse de façon naturelle à l'échelle de temps d'une vie humaine. En effet, une fois les arbres installés dans une tourbière, ceux-ci vont généralement favoriser le maintien des conditions favorables à leur propre croissance, en asséchant de plus en plus le site et en inhibant la croissance des sphaignes (Heijmans et collab., 2013). Ultimement, le boisement peut avoir des effets néfastes sur les fonctions et les services écologiques rendus par les tourbières. À titre d'exemple, les taux de séquestration du carbone pourraient être réduits, car, dans les tourbières ombrotrophes, ces taux dépendent fortement de la croissance des sphaignes, qui sont le principal élément clé de l'accumulation de la matière organique (Berendse et collab., 2001; Van Breemen, 1995). L'accumulation peut aussi être réduite par l'augmentation de la décomposition aérobie liée à l'abaissement des niveaux d'eau. Le boisement de la tourbière risque également d'avoir des effets sur l'avifaune qui la fréquente, car celle-ci est fortement influencée par la structure verticale de son habitat (Lachance et collab., 2005).

Compte tenu des effets néfastes du boisement à la fois sur la biodiversité des tourbières et sur certains des services écologiques rendus, des efforts de gestion des espèces ligneuses devraient-ils être consentis à la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy? Les études sur les effets d'une gestion de la végétation ligneuse dans les tourbières dans un contexte de conservation sont encore peu nombreuses (Cholet, 2010; Kamocki et collab., 2017; Landry et Marcoux, 2010). Dans les cas où le boisement est associé à la présence de canaux de drainage, leur blocage peut favoriser une remontée et une stabilisation du niveau d'eau (Cholet, 2010; Hugron et collab., 2013; Landry et Marcoux, 2010; Landry et Rochefort, 2011; LaRose et collab., 1997) et ainsi favoriser la croissance des plantes typiques des tourbières au détriment des espèces terrestres ou non désirables comme les arbres (Roul, 2004; Tuittila et collab., 2000). Différentes techniques de blocage existent et sont présentées en détail dans Landry et Rochefort (2011). La coupe des arbres au pourtour des canaux, notamment ceux de gros calibre, pourrait par ailleurs optimiser les efforts de remouillage (Landry et Marcoux, 2010; Landry et Rochefort, 2011). Cette technique (blocage et coupe) semble avoir eu des résultats positifs à la tourbière Grande plée Bleue dans la région de la Chaudière-Appalaches au sud de Québec (Hugron et collab., 2013; Landry et Marcoux, 2010). Dans les cas où l'assèchement du site n'est pas attribuable à des canaux de drainage spécifiques ou s'il n'est pas possible de bloquer ces canaux pour diverses raisons (p. ex.: canaux essentiels au drainage des terres environnantes; coûts trop élevés), comme cela est probablement le cas à la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy, des interventions de déboisement sans gestion de niveau d'eau pourraient être envisagées. Les besoins d'interventions risquent toutefois d'être récurrents (Cholet, 2010; Kamocki et collab., 2017).

Remerciements

Les auteurs remercient Stéphanie Savard et Jérémy Martel pour la cueillette des données en 2015, M. Favreau pour l'aide avec les analyses statistiques, la Ville de Québec pour la permission d'accès à la base de plein air de Sainte-Foy ainsi que É. Paradis et un réviseur anonyme pour leurs commentaires et suggestions de correction sur une version précédente du manuscrit. Ce projet a été soutenu par le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada (M. Poulin : RGPIN-2014-05663; S. Pellerin : RGPIN-2014-05367). ◀

Références

- ANDERSON, M., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Australian Ecology*, 26 : 32-46.
- ANDERSON, M.J., K.E., ELLINGSEN et B.H. MCARDLE, 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters*, 9 : 683-693.
- BART, D., T. DAVENPORT et A. YATES, 2016. Environmental predictors of woody plant encroachment in calcareous fens are modified by biotic and abiotic land-use legacies. *Journal of Applied Ecology*, 53 : 541-549.
- BAZOGÉ, A., D. LACHANCE et C. VILLENEUVE, 2014. Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'expertise en biodiversité et Direction de l'aménagement et des eaux souterraines, Québec, 108 p.
- BERENDSE, F., N. VAN BREEMEN, H. RYDIN, A. BUTTLER, M. HEIJMANS, M.R. HOOSBEEK, J.A. LEE, E. MITCHELL, T. SAARINEN, H. VASANDER et B. WALLÉN, 2001. Raised atmospheric CO₂ levels and increased N deposition cause shifts in plant species composition and production in *Sphagnum* bogs. *Global Change Biology*, 7 : 591-598.
- BERG, E.E., K. MCDONNELLE HILLMAN, R. DIAL et A. DERUWED, 2009. Recent woody invasion of wetlands on the Kenai Peninsula Lowlands, south-central Alaska: a major regime shift after 18 000 years of wet *Sphagnum*-sedge peat recruitment. *Canadian Journal of Forest Research*, 39 : 2033-2046.
- BERGERON, A. et S. PELLERIN, 2014. Pteridophytes as indicators of urban forest integrity. *Ecological Indicators*, 38 : 40-49.
- BRICE, M.H., S. PELLERIN et M. POULIN, 2016. Environmental filtering and spatial processes in urban riparian forests. *Journal of Vegetation Science*, 27 : 1023-1035.
- BRICE, M.H., S. PELLERIN et M. POULIN, 2017. Does urbanization lead to taxonomic and functional homogenization in riparian forests? *Diversity and Distributions*, 23 : 828-840.
- BROUILLET, L., F. COURSOL, S.J. MEADES, M. FAVREAU, M. ANIONS, P. BÉLISLE et P. DESMET, 2016. VASCAN, the Database of Vascular Plants of Canada. Disponible en ligne à : <http://data.canadensys.net/vascan/> [Visité le 2016-05-20].
- CHOLET, J., 2010. Quelle place pour les arbres en tourbière? Dans : CHOLET, J. et G. MAGNON (édit.). *Tourbières des montagnes françaises: nouveaux éléments de connaissance, de réflexions et de gestion*. Pôle-relais Tourbières et Fédérations des Conservatoires d'Espaces Naturels, Frasné, France, p. 128-149.
- DARVEAU, M., 1979. Contribution à l'étude phytosociologique de la tourbière de la base de plein air de la ville de Sainte-Foy, Québec. Mémoire de baccalauréat, Université Laval, Québec, 48 p.
- FAUBERT, J., 2012. Flore des bryophytes du Québec-Labrador. Volume 1 : Anthocérotes et hépatiques. Société québécoise de bryologie, Saint-Valérien, 356 p.
- FAUBERT, J., 2013. Flore des bryophytes du Québec-Labrador. Volume 2 : Mousses, première partie. Société québécoise de bryologie, Saint-Valérien, 402 p.

- FAUBERT, J., 2014. Flore des bryophytes du Québec-Labrador. Volume 3: Mousses, seconde partie. Société québécoise de bryologie, Saint-Valérien, 456 p.
- GERING, J.C., T.O. CRIST et J.A. VETCH, 2003. Additive partitioning of species diversity across multiple spatial scales: implications for regional conservation of biodiversity. *Conservation Biology*, 17: 488-499.
- HEIJMANS, M.M.P.D., Y.A.M. VAN DER KNAAP, M. HOLMGREN et J. LIMPENS, 2013. Persistent versus transient tree encroachment of temperate peat bogs: effects of climate warming and drought events. *Global Change Biology*, 19: 2240-2250.
- HUGRON, S., J. LANDRY, S. RAYMOND et O. MARCOUX, 2013. Remouillage du secteur sud de la tourbière Grande-Plée-Bleue. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Québec, 31 p.
- INGERPUU, N., K. VELLAK, T. KUKK et M. PARTEL, 2001. Bryophyte and vascular plant species richness in boreo-nemoral moist forests and mires. *Biodiversity and Conservation*, 10: 2153-2166.
- IRELAND, A.W. et R.K. BOOTH, 2012. Upland deforestation triggered an ecosystem state-shift in a kettle peatland. *Journal of Ecology*, 100: 586-596.
- KAMOCKI, A.J., A. KOŁOS et P. BANASZUK, 2017. Can we effectively stop the expansion of trees on wetlands? Results of a birch removal experiment. *Wetlands Ecology and Management*, 25: 359-367.
- KAPPER, J., R. HÉDL, G. JURASINSKI, M. KOPECKÝ, F.H. SCHEI et J.A. GRYNES, 2017. Resurveying historical vegetation data – opportunities and challenges. *Applied Vegetation Science*, 20: 164-171.
- KOPECKÝ, M. et M. MACEK, 2015. Vegetation resurvey is robust to plot location uncertainty. *Diversity and Distribution*, 21: 322-330.
- LACHANCE, D., C. LAVOIE et A. DESROCHERS, 2005. The impact of peatland afforestation on plant and bird diversity in southeastern Québec. *Écoscience*, 12: 161-171.
- LANDRY, J. et O. MARCOUX, 2010. Remouillage de la section sud de la tourbière Grande plée Bleue. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Québec, 42 p.
- LANDRY, J. et L. ROCHEFORT, 2011. Le drainage des tourbières: impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Québec, 53 p.
- LAPOINTE, M., 2014. Plantes des milieux humides et des bords de mer du Québec et des Maritimes. Éditions Michel Quintin, Montréal, 455 p.
- LAROSE, S., J. PRICE et L. ROCHEFORT, 1997. Rewetting of a cutover peatland: hydrologic assessment. *Wetlands*, 17: 416-423.
- LAROUCHE, A., 1979. Histoire postglacière comparée de la végétation à Sainte-Foy et au mont des Éboulements, Québec, par l'analyse macro-fossile 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.
- LEGENDRE, P. et M. DE CÁCERES, 2013. Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficient and partitioning. *Ecology Letters*, 16: 951-963.
- LINDERHOLM, H.W. et M. LEINE, 2004. An assessment of twentieth century tree-cover changes on a southern Swedish peatland combining dendrochronology and aerial photograph analysis. *Wetlands*, 24: 357-363.
- MCCUNE, J.L. et M. VELLEND, 2013. Gains in native species promote biotic homogenization over four decades in a human-dominated landscape. *Journal of Ecology*, 101: 1542-1551.
- MCKINNEY, M.L. et J.L. LOCKWOOD, 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution*, 14: 450-453.
- MOORE, P.D., 2002. The future of cool temperate bogs. *Environmental Conservation*, 29: 3-20.
- PASQUET, S., S. PELLERIN et M. POULIN, 2015. Three decades of vegetation changes in peatlands isolated in an agricultural landscape. *Applied Vegetation Science*, 18: 220-229.
- 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.
- PELLERIN, S. et C. LAVOIE, 2003. Reconstructing the recent dynamics of mires using a multitechnique approach. *Journal of Ecology*, 91: 1008-1021.
- PELLERIN, S. et M. POULIN, 2013. Analyse de la situation des milieux humides au Québec et recommandations à des fins de conservation et de gestion durable. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 104 p.
- POULIN, M., L. ROCHEFORT, S. PELLERIN et J. THIBAUT, 2004. Threats and protection for peatlands in Eastern Canada. *Géocarrefour*, 79: 331-344.
- ROUL, I., 2004. Restoration strategies for block-cut peatlands: a hydrological and plant community analysis. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 65 p.
- SAVAGE, J. et M. VELLEND, 2015. Elevational shifts, biotic homogenization and time lags in vegetation change during 40 years of climate warming. *Ecography*, 38: 546-555.
- SØRENSEN, T.A., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant phytosociology based on similarity content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 5: 1-34.
- TALBOT, J., P.J.H. RICHARD, N.T. ROULET et R.K. BOOTH, 2009. Assessing long-term hydrological and ecological responses to drainage in a raised bog using paleoecology and a hydrosequence. *Journal of Vegetation Science*, 21: 143-156.
- TOUSIGNANT, M.E., S. PELLERIN et J. BRISSON, 2010. The relative impact of human disturbances on the vegetation of a large wetland complex. *Wetlands*, 30: 333-344.
- TUITILLA, E.S., H. VASANDER et J. LAINE, 2000. Impact of rewetting on the vegetation of a cut-away peatland. *Applied Vegetation Science*, 3: 205-212.
- USDA et NRSC, 2016. The PLANTS Database. Disponible en ligne à : <http://plants.usda.gov> [Visité le 2016-05-20].
- VAN BREEMEN, N., 1995. How *Sphagnum* bogs down other plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 10: 270-275.
- WARNER, B.G. et T. ASADA, 2006. Biological diversity of peatlands in Canada. *Aquatic Sciences*, 68: 240-253.
- WARNER, R.J.I.I., I.M. ROSWELL, K.K. MOORHEAD et J.D. PITILLO, 2007. The influence of woody encroachment upon herbaceous vegetation in a southern Appalachian wetland complex. *American Midland Naturalist*, 157: 39-51.
- WHITE, M.D. et K.A. GREER, 2006. The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Penasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning*, 74: 125-138.
- WILLIAMS, N.S.G., A.K. HAHS et P.A. VESK, 2015. Urbanisation, plant traits and the composition of urban flora. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17: 78-86.

ANNEXE – Espèces recensées dans la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy. Les astérisques (*) indiquent les nouvelles espèces en 2015, les croix (+), les espèces disparues depuis 1978 et les caractères gras, les espèces exotiques.

Arbres		
<i>Acer rubrum*</i>	<i>Betula populifolia</i>	<i>Picea mariana</i>
<i>Betula papyrifera*</i>	<i>Larix laricina</i>	<i>Ulmus rubra*</i>
Arbustes		
<i>Acer spicatum*</i>	<i>Kalmia polifolia</i>	<i>Salix sp.*</i>
<i>Alnus incana</i> subsp. <i>rugosa*</i>	<i>Prunus virginiana*</i>	<i>Sambucus racemosa</i> subsp. <i>pubens*</i>
<i>Amelanchier bartramiana*</i>	<i>Rhododendron canadense</i>	<i>Sorbus decora*</i>
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia+</i>	<i>Rhododendron groenlandicum</i>	<i>Spiraea latifolia</i>
<i>Aronia melanocarpa</i>	<i>Rubus canadensis*</i>	<i>Vaccinium angustifolium</i>
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	<i>Rubus idaeus*</i>	<i>Vaccinium myrtilloides</i>
<i>Ilex mucronata</i>	<i>Rubus repens*</i>	<i>Vaccinium oxycoccos+</i>
<i>Kalmia angustifolia</i>	<i>Rubus sp.*</i>	<i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>
Herbacées		
<i>Aralia nudicaulis*</i>	<i>Cypripedium reginae*</i>	<i>Maianthemum canadense*</i>
<i>Arctium lappa*</i>	<i>Dryopteris intermedia*</i>	<i>Maianthemum racemosum*</i>
<i>Carex arctata*</i>	<i>Eriophorum vaginatum</i> subsp. <i>spissum+</i>	<i>Maianthemum stellatum*</i>
<i>Carex blanda*</i>	<i>Fragaria sp.*</i>	<i>Maianthemum trifolium</i>
<i>Carex canescens+</i>	<i>Geum canadense*</i>	<i>Onoclea sensibilis*</i>
<i>Carex oligosperma</i>	<i>Glyceria canadensis+</i>	<i>Poa saltuensis*</i>
<i>Carex sp.*</i>	<i>Hieracium sabaudum*</i>	<i>Rubus pubescens*</i>
<i>Carex stipata*</i>	<i>Impatiens capensis*</i>	<i>Sarracenia purpurea+</i>
<i>Carex stricta</i>	<i>Impatiens pallida*</i>	<i>Solidago rugosa*</i>
<i>Circaea canadensis*</i>	<i>Lysimachia borealis*</i>	<i>Solidago sp.+</i>
<i>Clintonia borealis*</i>		
Bryophytes		
<i>Brachythecium curtum*</i>	<i>Leiomylia anomala*</i>	<i>Sphagnum angustifolium*</i>
<i>Brachythecium rutabulum*</i>	<i>Platygyrium repens*</i>	<i>Sphagnum capillifolium</i>
<i>Callicladium haldanianum*</i>	<i>Pleurozium schreberi*</i>	<i>Sphagnum cuspidatum*</i>
<i>Campylium stellatum*</i>	<i>Polytrichum commune*</i>	<i>Sphagnum fallax</i>
<i>Cladopodiella fluitans*</i>	<i>Polytrichum juniperinum+</i>	<i>Sphagnum fuscum+</i>
<i>Dicranum polysetum*</i>	<i>Ptilium crista-castrensis*</i>	<i>Sphagnum girgensohnii*</i>
<i>Fissidens dubius*</i>	<i>Scorpidium cossonii*</i>	<i>Sphagnum magellanicum</i>

Gestion intégrée du roseau commun à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher (Neuveville, Québec)

François Messier et Réhaume Courtois

Résumé

Le roseau commun exotique (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steud. subsp. *australis*) s'est propagé graduellement au cours des 20 dernières années dans la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher, un site de 125 ha avec 19 ha de marais d'eau douce. Des inventaires réalisés de 2013 à 2015 ont permis d'identifier 41 clones de roseau sur le territoire du marais. Compte tenu des conditions du milieu et de l'accessibilité au site, 5 méthodes ont été privilégiées pour lutter contre le roseau: l'arrachage manuel des rhizomes, la fauche des tiges, le bâchage, l'excavation mécanique avec ensemencement et l'implantation d'une compétition végétale. La superficie totale occupée par les clones de roseau à la suite des interventions a diminué de 19 %, passant de 7579 m² en 2013 à 6132 m² en 2017. L'excavation mécanique avec ensemencement, l'arrachage manuel et le bâchage ont engendré de fortes diminutions des superficies occupées par le roseau (baisses respectives de 99 %, 88 % et 47 %), tandis que la fauche et la compétition végétale ont eu un effet plus faible (diminution d'au plus 28 %).

MOTS CLÉS: espèce exotique envahissante, lutte intégrée, marais, *Phragmites australis*, roseau commun

Abstract

Over the last 20 years, the exotic invasive genotype of common reed (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steud.) has been gradually spreading across the Marais-Léon-Provancher Nature Reserve (Québec, Canada), a 125-ha site, comprising a 14-ha freshwater marsh. Field surveys conducted from 2013 to 2015 identified and mapped 41 colonies in the marsh. Given the environmental conditions and site accessibility, 5 control methods were used to control common reed expansion: hand-pulling, mowing, tarping, mechanical excavation with seeding, and the planting of competitive plant species. In 2013, the combined surface area of the colonies was 7579 m². By 2017, this had been reduced by 19.1% to 6132 m². Mechanical excavation with seeding, hand-pulling and tarping resulted in large reductions in common reed patch size (decreases of 99%, 88% and 47%, respectively), while mowing and the use of plant competition were less effective (reduction of 28% at best).

KEYWORDS: common reed, exotic invasive species, integrated pest management, marsh, *Phragmites australis*

Introduction

La réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher, située à Neuveville, non loin de la ville de Québec, a fait l'objet d'interventions ciblées durant 4 années consécutives pour lutter contre le roseau commun (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. subsp. *australis*), une plante exotique envahissante qui s'est implantée au cours des 20 dernières années dans ce territoire. Omniprésent dans le sud du Québec, le roseau commun est généralement considéré comme l'une des plantes envahissantes les plus problématiques sur le continent nord-américain (Galatowitsch et collab., 1999). Même si l'espèce est indigène à l'Amérique du Nord (*Phragmites australis* subsp. *americanus*), il existe plusieurs génotypes du roseau qui ont évolué sur différents continents pendant plusieurs milliers d'années (Saltonstall, 2003). Ainsi, le génotype envahissant du roseau commun — le génotype M, qui est d'origine eurasiennne — a été introduit au Québec au début du 20^e siècle. La plus ancienne mention de ce génotype au Québec a été faite en 1916. D'abord confiné aux abords du fleuve Saint-Laurent, ce roseau s'est propagé à l'intérieur des terres à partir des années 1960 en profitant de faibles niveaux d'eau du fleuve et du développement du réseau autoroutier

(Lelong et collab., 2007). Il abonde particulièrement dans les milieux humides non boisés, dont les marais d'eau douce (Mal et Narine, 2004). Il peut aussi croître sur sol sec. Cette plante opportuniste s'établit principalement sur des sols humides mis à nu situés à proximité des populations existantes, lorsque les conditions de germination lui sont propices (Ailstock et collab., 2001). Ses graines sont transportées par le vent et l'eau, puis ses rhizomes ou fragments de roseaux sont également transportés par la machinerie utilisée lors de travaux d'excavation et de transport (Ailstock et collab., 2001; Boivin et collab., 2011). Enfin, une population de roseau peut se propager par le réseau de canaux de drainage secondaires en milieu agricole et envahir les sites adjacents, dont les milieux humides, les rives des cours d'eau et les habitats perturbés (Lavoie, 2007; Lelong et Lavoie, 2014).

François Messier est diplômé à la maîtrise en biologie végétale de l'Université Laval.

francois.messier@gmail.com

Réhaume Courtois est coordonnateur de la gestion intégrée du roseau commun à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher de la Société Provancher.

De nombreuses études ont permis de décrire les stratégies de reproduction et de dissémination du roseau exotique (Albert et collab., 2015; Belzile et collab., 2010; Haslam, 1972; Mal et Narine, 2004). Une population émerge presque toujours de la germination d'une graine. Un clone se forme ensuite par propagation végétative à partir de rhizomes et de stolons (Albert et collab., 2015). La compétitivité de cette plante est très forte par rapport à d'autres espèces végétales pour l'occupation de l'espace et l'accaparement des ressources (eau, lumière et nutriments). Elle peut former des massifs denses et homogènes, parfois même des roselières monospécifiques. Ces roselières peuvent, dépendamment des conditions environnementales (profondeur d'eau et salinité), supplanter les autres plantes des marais, y compris les quenouilles (*Typha* spp.) (Le Groupe Phragmites, 2012; Paradis et collab., 2014).

Les effets du roseau commun sur la flore et la faune indigènes ont aussi fait l'objet de nombreuses études (Ailstock et collab., 2001; Gagnon-Lupien et collab., 2015; Lavoie et collab., 2003; Minchinton et collab., 2006; Perez et collab., 2013). Les effets négatifs des roselières sur la faune semblent variables selon la région et les conditions hydrologiques. Bien que diverses espèces d'oiseaux, d'amphibiens et de poissons puissent fréquenter les roselières (Gagnon-Lupien et collab., 2015; Larochelle et collab., 2015; Mazerolle et collab., 2014), les biologistes de la sauvagine considèrent généralement le roseau comme une plante indésirable dans les marais nord-américains, notamment à cause de sa propension à éliminer les superficies ouvertes requises pour l'alimentation des canards et de leurs couvées (Larson, 1995; Meyer et collab., 2010). Par exemple, la litière de roseau élève le fond d'un marais, ce qui peut nuire à l'habitat de certaines espèces d'oiseaux (Gagnon-Lupien et collab., 2015).

Méthodes connues de gestion du roseau commun

En raison des effets négatifs du roseau commun sur les écosystèmes naturels et des problématiques de gestion associés à sa prolifération, plusieurs méthodes ont été développées au fil du temps pour tenter d'éradiquer ou de freiner l'expansion des clones de roseau. L'épandage d'herbicides est l'approche la plus fréquemment utilisée en Amérique du Nord (Knezevic et collab., 2013). Le glyphosate et l'imazapyr, deux ingrédients actifs et non sélectifs contenus dans les herbicides d'usage commercial, seraient les plus efficaces pour la gestion du roseau exotique (Knezevic et collab., 2013). Au Québec, en vertu de l'alinéa 2 de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., chapitre Q-2), l'application de pesticides est proscrite dans un milieu humide (Gouvernement du Québec, 2018).

La fauche des tiges de roseaux est une méthode de maîtrise peu efficace, dont l'effet est temporaire (Hazelton et collab., 2014). Elle peut toutefois contribuer à la réduction de la taille des tiges, de leur diamètre et de la biomasse aérienne (Güsewell, 2003). Cependant, l'arrêt de la fauche entraîne un retour de la plante comme espèce dominante, au plus 2 à 3 années après le traitement (Asaeda et collab., 2006).

L'excavation mécanique est une des méthodes les plus efficaces pour éliminer de manière rapide et définitive un clone dense de roseau. Par contre, elle est très onéreuse (Hazelton et collab., 2014), en raison des coûts d'opération et de gestion adéquate des sols contaminés. L'extraction manuelle est efficace pour limiter la propagation d'un clone de roseau récemment établi et couvrant une petite superficie. Elle est particulièrement efficace lorsque le système racinaire de la plante n'est pas encore bien développé (Coupal, 2014).

Le bâchage semble avoir une efficacité comparable aux traitements chimiques pour la lutte au roseau exotique (Hutchinson et Viers, 2011). Il a été démontré qu'après deux années de bâchage, la densité et le recouvrement d'une population de roseau diminuaient respectivement de 50 % et de 75 % par rapport à l'état initial d'envahissement (Karathanos, 2015). En contrepartie, c'est une méthode très coûteuse et limitée aux populations couvrant de faibles superficies (Hazelton et collab., 2014).

L'ensemencement d'herbacées sur un sol dénudé est utilisé pour empêcher la germination des graines de roseau et le développement des jeunes plantules (Byun et collab., 2013). Par contre, cette méthode ne semble pas appropriée pour freiner la propagation par voie végétative de populations de roseau déjà bien établies (Karathanos, 2015).

La compétition végétale par plantation d'arbustes est utilisée dans les sites où le roseau est déjà bien établi. Des haies arbustives sont utilisées pour limiter la croissance de jeunes plants de roseau, intolérants à l'ombre, lors de leur établissement et aussi pour circonscrire une population de roseau (Albert et collab., 2013). Par exemple, l'aulne rugueux (*Alnus incana* subsp. *rugosa*) et le saule miyabeana (*Salix miyabeana*) sont deux espèces arbustives généralistes réputées efficaces pour lutter contre le roseau en milieux humides. Elles ont été choisies en raison des caractéristiques (hauteur à maturité; croissance rapide; tolérance à l'humidité et au sel; capacité à faire des rejets) qui leur confèrent de bonnes aptitudes à s'implanter en marge des fossés autoroutiers (Boivin et collab., 2011).

Les méthodes de brûlage, l'inondation, la lutte biologique et le broutement par les herbivores n'ont pas été pris en compte dans cette étude pour lutter contre les clones de roseau, puisqu'ils étaient impossibles à mettre en place sur le territoire de la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher à cause de contraintes techniques et règlementaires.

Face aux effets potentiellement négatifs du roseau sur la richesse et la diversité floristique ainsi que sur la faune aviaire du marais, la Société Provancher, propriétaire et gestionnaire du site, a décidé de mener des actions pour diminuer l'étendue et la densité des clones de roseau. À cet effet, différentes méthodes de lutte au roseau (arrachage manuel des rhizomes, fauche des tiges, bâchage, excavation mécanique avec ensemencement et implantation d'une compétition végétale à l'aide de plantations d'arbres et d'arbustes) ont été utilisées de 2013 à 2017. Un suivi des sites envahis par le roseau a été effectué de 2015 à 2017 afin de décrire l'efficacité des interventions de lutte au roseau et de mesurer la croissance annuelle des plantations.

Matériel et méthodes

Aire d'étude

La réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher couvre une superficie de 125 ha. Ce site a été acquis par la Fondation de la faune du Québec en 1988 au nom des partenaires du Plan conjoint des habitats de l'Est. Dans la partie nord du territoire, Canards Illimités Canada a construit, à l'automne 1994, une digue d'une hauteur d'un peu plus de 2 m destinée à créer un marais de 19 ha. Le territoire a été cédé en mars 1996 à la Société Provancher, qui s'est engagée à le préserver à perpétuité, à en assurer la gestion et à en favoriser la mise en valeur. Des acquisitions subséquentes ont eu lieu en 1998 et 2000, et le territoire a reçu le statut officiel de réserve naturelle en 2005. La réserve est utilisée par de nombreux oiseaux aquatiques en période migratoire ou de reproduction. Avec plus de 300 taxons floristiques et 219 espèces d'oiseaux, dont une centaine d'espèces aquatiques, le territoire du marais Léon-Provancher est reconnu comme le deuxième site ornithologique en importance de la région de Québec, après la réserve nationale de faune du Cap-Tourmente.

En 2013, 29 clones de roseau, dont la superficie variait de quelques dizaines à plusieurs centaines de m², ont été répertoriés sur le territoire du marais. À ceux-ci se sont ajoutés 12 autres clones qui ont été répertoriés en 2015. Quatre clones, recensés en 2013, semblent depuis s'être résorbés : une dizaine de tiges vivantes seulement et quelques tiges mortes de roseau entremêlées à des quenouilles et de jeunes saules ont été observées récemment. La répartition des clones de roseau présents en novembre 2017 est illustrée à la figure 1.

Méthodes de contrôle testées

Différentes méthodes ont été utilisées pour limiter la propagation du roseau dans la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher selon la localisation et les conditions du terrain qui prévalaient dans chacun des clones. Ces méthodes de lutte au roseau commun ont été sélectionnées en fonction de différents critères : la faisabilité en marais, le faible coût, la faible perturbation du milieu occasionnée par la méthode et son efficacité démontrée dans la littérature scientifique (sinon pour le roseau commun, du moins pour d'autres types de plantes de milieu humide).

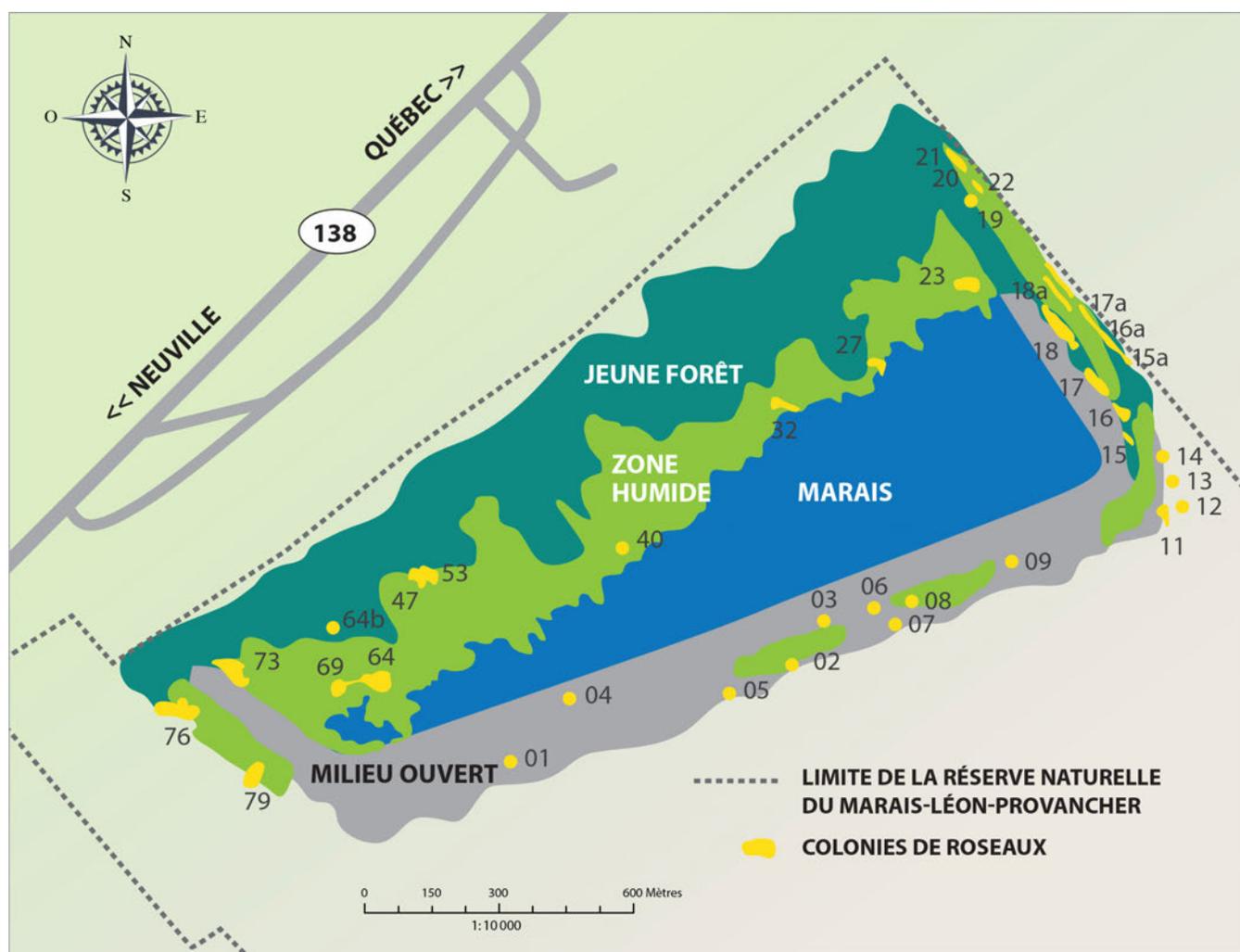


Figure 1. Répartition des clones de roseau commun exotique présents à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher à l'automne 2017.

Arrachage manuel

L'arrachage manuel des tiges et des rhizomes de roseau a été effectué à 3 reprises durant 2 saisons de croissance (2016 et 2017; mai, juillet et août), dans les 9 clones situés dans la partie sud-est du marais. Les rhizomes, qui se trouvaient généralement à une profondeur d'environ 20 à 30 cm dans le sol, ont d'abord été dégagés à l'aide d'une pelle, puis retirés manuellement en s'assurant de ne pas les casser ni de disperser des fragments. Ils ont ensuite été récoltés dans des sacs en plastique robuste, puis déposés dans un site d'entreposage situé près du stationnement de la réserve. Ces résidus ont été détruits à l'incinérateur de la Ville de Québec.

Fauche

Les tiges et les stolons de roseau de 7 clones situés au nord du marais, où l'accès à la machinerie lourde était impossible, ont été fauchés à 2 reprises en 2015 (septembre et octobre) à l'aide d'une débroussailleuse à lame. De plus, des fauches ont été réalisées à l'aide de taille-haies à 2 reprises en 2015 (mai et juin), en 2016 et en 2017 (fin juin et début août), principalement au pourtour des clones du secteur est du marais, ainsi qu'à l'intérieur et en périphérie des clones des secteurs ouest et nord du marais. Ces périodes de fauche ont été retenues afin de priver les roseaux de leurs réserves en eau et nutriments, au moment où la majorité des réserves d'énergie est concentrée dans la partie supérieure de la plante et avant que les éléments nutritifs soient transférés aux rhizomes, ce qui a pour effet de limiter la repousse des roseaux (Boutin et Poulin, 2013). La fauche des tiges de roseau à cette période minimise également les répercussions sur la reproduction et la nidification des oiseaux. Les résidus de ces fauches ont été disposés sur une bâche imperméable à proximité des clones ou transportés près du stationnement de la réserve de façon à éviter qu'ils s'enracinent. Les résidus entreposés au stationnement ont été détruits à l'incinérateur de la Ville de Québec, alors que les autres résidus se sont décomposés sur les bâches.

Bâchage

Dix clones de roseau (7 au nord et 3 à l'est) ont été recouverts par des bâches, composées d'une membrane de plastique opaque et imperméable (géomembrane) d'une épaisseur de 0,48 mm ou de 0,72 mm (Texel TM820P ou TM830P) en 2015, en 2016 et en 2017. Les tiges de roseau de 5 clones avaient préalablement été écrasées, tandis que les tiges des 5 autres avaient été fauchées avant d'être bâchées (figure 2a et b). L'écrasement permet de limiter le nombre de tiges coupées ou cassées en pointe qui peuvent percer la géomembrane lorsqu'on y circule. Les géomembranes ont été laissées en place durant au moins 2 années, période suffisante pour que le traitement ait un effet significatif sur la mortalité du roseau (Karathanos et collab., 2015).

Excavation mécanique avec ensemencement

En 2013, 3 clones de roseau situés au sud-est du marais couvrant des superficies moyennes (39, 39 et 177 m²), et où les densités de tiges étaient particulièrement élevées, ont été excavés et enfouis sur place. Les secteurs excavés ont ensuite été bâchés



Réhaume Courtois



Réhaume Courtois

Figure 2. Bâchage d'un clone de roseau: A) avant; B) après le traitement.

durant 2 années consécutives, puis ensemencés avec un mélange de graminées après le retrait des bâches selon la méthodologie de Karathanos et collab. (2015). De façon plus précise, les tiges de roseau présentes sur ces sites ont été fauchées à l'aide d'une débroussailleuse à lame. Deuxièmement, une couche de sol d'environ 50 cm de profondeur contenant les racines, les rhizomes et les tiges de roseaux fauchées a été excavée à l'aide d'une pelle mécanique sur la totalité de la superficie des clones. Une couche supplémentaire de sol de 50 cm de profondeur et exempte de rhizomes a été excavée, empilée et mise de côté à l'aide de la pelle mécanique. Le matériel contenant les fragments de roseaux (racines, rhizomes et tiges) et les résidus de fauche ont été déposés dans la fosse excavée et ensuite enfouis sous la couche de sol sain. La zone d'excavation a été recouverte d'une géomembrane (Texel TM830P) dont les rebords ont été enfouis dans le sol sur une profondeur d'environ 1 m, le tout afin d'empêcher la germination des graines de roseau sur le sol mis à nu et la propagation des rhizomes latéralement. Les géomembranes ont été retirées au début juillet, après 2 années de traitement, puis une couche de 10 cm d'épaisseur de terre végétale aseptisée a été disposée sur les surfaces traitées. Ces

surfaces ont été ensemencées à la main avec un mélange de graminées¹ principalement conçu pour offrir un couvert herbacé permanent propice à la nidification des canards et la stabilisation des sols, qui s'adapte à l'ensemble des conditions de terrain que l'on trouve à proximité des milieux humides. Ce mélange a été utilisé selon un taux d'ensemencement de 2,5 à 5,0 g/m² pour recouvrir, le plus rapidement possible, le sol à nu par une végétation indigène ou exotique afin de limiter la germination éventuelle des graines de roseaux contenues dans le sol. Les quelques tiges et rhizomes de roseau ayant poussé autour des parties traitées ont été arrachés manuellement à 2 reprises durant 2 années consécutives.

Compétition végétale

En 2016 et en 2017, des boutures de saules (10583 boutures de *Salix lucida* et *S. discolor*) ont été plantées au travers des géomembranes dans les 10 clones bâchés. L'utilisation de géomembranes a été favorisée parce que le milieu était humide. Ainsi, les saules étaient constamment alimentés en eau à partir du sous-sol. Dans 2 de ces clones, les rangs de boutures alternaient avec des rangs de saules enracinés en plants de forte dimension (40 à 50 cm de hauteur). Au besoin, les sites plantés ont été regarnis en remplaçant les plants morts principalement à l'aide de boutures, bien que des plançons (1077 plançons) aient parfois été utilisés. Les saules utilisés comme boutures et plançons étaient distants de 30 à 50 cm entre eux, et les rangées étaient espacées de 0,5 m à 1 m, ce qui équivaut à une densité de plantation d'environ 3 à 4 tiges par m².

Suivi et analyses statistiques

Un suivi de différents paramètres biophysiques décrivant les clones de roseau et les plantations a été mené à l'automne 2015, 2016 et 2017, afin de vérifier l'effet des traitements. La superficie occupée par les clones de roseau a été évaluée en délimitant par géopositionnement le contour des clones. L'évaluation du contour d'un clone consiste à repérer visuellement sur le terrain l'étendue maximale des tiges de roseau composant ce clone jusqu'à ce que le nombre de tiges observées soit nul. Le degré d'incertitude des mesures de superficie des clones a été estimé à environ 14% en valeur absolue, en comparant les mesures de la superficie de 10 clones prises à 2 reprises. Le suivi consistait également à mesurer la hauteur maximale, la croissance annuelle et le taux de mortalité des plantations de saules.

Les comparaisons statistiques des paramètres s'appliquant aux plantations de saules ont été effectuées à partir d'analyses de variance à 2 ou 3 facteurs à l'aide du logiciel Openstat, version 11.9.08 (Miller, 2013). Le seuil de signification de 0,05 a été retenu et les moyennes ont été comparées *a posteriori* à l'aide du test de Scheffé. Étant donné que les interventions réalisées sur les clones de roseau ont été étalées sur plusieurs années, les données n'étaient pas disponibles chaque année pour l'ensemble des clones

à l'étude. Dans les analyses statistiques, seuls les clones pour lesquels les plans d'expérience étaient complets (généralement $n = 30$ pour chaque facteur considéré) ont été pris en compte.

Résultats et discussion

Effet des traitements sur la superficie des clones de roseau

La superficie totale couverte par l'ensemble des clones de roseau présents sur le territoire de la réserve a augmenté de 2013 à 2015 (de 7579 m² à 10 494 m²). Elle a ensuite diminué en 2016 (8880 m²), puis à nouveau en 2017 (7401 m²; tableau 1). Ces superficies ont varié au fil des années (respectivement +28% en 2015, -15% en 2016 et -17% en 2017), bien qu'une diminution de 2% de 2013 à 2017 ait été observée. Par contre, la diminution réelle de la superficie totale occupée par ces clones est sous-estimée, puisque 12 clones (1148 m²) n'avaient pas été recensés en 2013. En excluant ces dernières, les superficies totales réelles occupées par les 29 autres clones étaient de 9346 m² en 2015, de 7128 m² en 2016 et de 6132 m² en 2017. Ainsi, la diminution réelle de la superficie totale occupée par le roseau à la suite de nos interventions de 2013 à 2017 a été de 19%.

Excavation mécanique, arrachage manuel et bâchage

Les trois méthodes mécaniques de lutte au roseau commun (l'excavation mécanique avec ensemencement, l'arrachage manuel et le bâchage) se sont avérées plus efficaces que la fauche et la compétition végétale pour diminuer les superficies occupées par les clones de roseau. En 2017, la superficie occupée par les 3 clones de roseau excavés avec enfouissement sur place et ensemencement avait diminué en moyenne de 99% ($\pm 1\%$) une année après le traitement (tableau 1). Après 2 années consécutives de traitement, parmi les 5 clones où les tiges et rhizomes de roseau ont été arrachés manuellement, 4 d'entre eux indiquaient une diminution moyenne de 88% ($\pm 17\%$) de leur superficie (tableau 1), tandis qu'un clone indiquait une augmentation de 114% de sa superficie (7 m² à 15 m²). Parmi les 10 clones de roseau denses et couvrant des superficies modérées ayant fait l'objet d'un bâchage (précédé d'une fauche ou d'un écrasement des tiges), 8 ont eu une diminution moyenne de 47% ($\pm 44\%$) de leur superficie totale après 2 saisons de croissance suivant la mise en place des géomembranes (tableau 1). Les 2 autres clones avaient été bâchés depuis seulement une année ou moins. Puisque la majorité de ces 10 clones de roseau sont toujours sous bâche au moment de la rédaction de ce document (sauf un clone dont la bâche a été retirée à la fin de l'été 2017), les superficies occupées par les repousses de roseau une fois les bâches retirées devront être évaluées au cours des prochaines années. Jusqu'à présent, on observe seulement quelques tiges de roseau ayant poussé dans les interstices des géomembranes. De plus, le bâchage n'a été effectué que dans la partie dense des clones, afin de ne pas détruire la compétition végétale naturelle (quenouilles, saules et cornouillers) présente dans les autres secteurs. Il subsiste donc des roseaux en périphérie des surfaces bâchées. À ces

1. Mélange Indigo MICA 2009 développé par Canards Illimités Canada et composé des espèces végétales suivantes: *Agrostis gigantea* (1,6%), *Andropogon gerardi* (17,5%), *Calamagrostis canadensis* (0,7%), *Elymus canadensis* (25,6%), *Festuca rubra* (19,0%), *Lolium multiflorum* (30,0%), *Panicum virgatum* (3,1%) et *Sporobolus michauxianus* (2,5%)

Tableau 1. Superficie totale (m²) des clones de roseau commun exotique répertoriés de 2013 à 2017 à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher.

Clone de roseau	Traitements utilisés (listés en ordre d'importance)	Superficie totale en 2013 (m ²)	Superficie totale en 2015 (m ²)	Superficie totale en 2016 (m ²)	Superficie totale en 2017 (m ²)
01	Arrachage manuel	-	43	5	1
02	Arrachage manuel	-	47	27	2
03	Arrachage manuel	-	7	15	15
04	Aucun	59	12	3	15
05	Arrachage manuel Fauche unique Compétition végétale	59	67	0	0
06	Arrachage manuel Fauche unique Compétition végétale	5	59	52	25
07	Excavation mécanique Bâchage Excavation avec ensemencement Compétition végétale Arrachage manuel	39	68	1	0
08	Excavation mécanique Bâchage Excavation avec ensemencement Compétition végétale Arrachage manuel	39	37	2	0
09	Excavation mécanique Bâchage Excavation avec ensemencement Compétition végétale Arrachage manuel	177	81	7	2
11	Fauche répétée Arrachage manuel Bâchage Compétition végétale	122	203	76	53
12	Fauche répétée Compétition végétale	94	153	123	110
13	Fauche répétée Compétition végétale	11	56	25	47
14	Fauche répétée Compétition végétale	40	86	45	25
15	Bâchage Arrachage manuel	79	248	85	2
15a	Compétition végétale	-	40	31	38
16	Fauche répétée Compétition végétale	238	203	244	192
16a	Compétition végétale	-	42	155	155
17	Fauche répétée Compétition végétale	474	421	300	373
17a	Compétition végétale	-	242	447	439
18	Fauche répétée Compétition végétale	742	1371	1049	986

Clone de roseau	Traitements utilisés (listés en ordre d'importance)	Superficie totale en 2013 (m ²)	Superficie totale en 2015 (m ²)	Superficie totale en 2016 (m ²)	Superficie totale en 2017 (m ²)
18a	Compétition végétale	-	121	458	111
19	Compétition végétale	-	279	310	310
20	Compétition végétale	-	53	114	49
21	Écrasement Bâchage Compétition végétale	-	220	106	124
22	Aucun	-	18	20	0
23	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	170	383	250	210
25	Aucun	79	n/d ^a	n/d	n/d
27	Fauche unique Compétition végétale	276	556	676	632
32	Fauche unique Compétition végétale	605	418	639	580
40	Fauche unique Compétition végétale	366	227	384	230
46	Aucun	20	n/d	n/d	n/d
47	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	519	946	152	30
53	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	303	375	627	550
59	Aucun	238	n/d	n/d	n/d
63	Aucun	20	n/d	n/d	n/d
64	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	481	511	231	322
64b	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	-	36	64	25
69	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	653	617	428	496
73	Fauche répétée Bâchage Compétition végétale	391	620	224	93
76	Fauche répétée Compétition végétale	523	994	901	805
79	Fauche répétée Compétition végétale	757	634	604	354
	Total (41 clones)	7579	10494	8880	7401
	Total (29 clones recensés en 2013)	7579	9346	7128	6132

^a n/d = non mesurée.

endroits, des plançons de saule ont été plantés afin d'accroître la compétition végétale avec les roseaux. Ceux-ci se sont bien établis, mais l'efficacité de cet aménagement ne pourra être connue précisément avant quelques années.

Fauche répétée des tiges de roseau

La fauche répétée des tiges de roseau dans 8 clones a diminué la superficie en moyenne de 28 % ($\pm 20\%$) de 2015 à 2017 (tableau 1).

Établissement d'une végétation compétitrice après bâchage

Après la première année de croissance, les boutures de saules plantées à travers les bâches atteignaient des hauteurs totales de 44 à 74 cm avec des croissances annuelles de 26 à 50 cm. Les taux de mortalité des plants de fortes dimensions étaient plus élevés que ceux des boutures (48 à 77 % contre 18 à 40 %). Cette différence pourrait être attribuable au bris d'une partie des racines de ces plants, au moment où ils étaient retirés des caissettes, puis mis en terre dans les orifices pratiqués dans les bâches. Il était également impossible de les enfoncer aussi profondément dans le sol que les boutures, ce qui peut avoir contribué à limiter leur apport en eau lors des périodes de temps chaud. À la deuxième année de croissance, les plants de saules indiquaient des croissances annuelles significativement plus fortes qu'à la première année ($F = 30,624$; $P = 0,0001$; $dl = 1$), sans différence entre les sites ou les types de plants utilisés. Les taux de mortalité des plantations étaient plus faibles que l'année précédente et comparables entre les 2 types de plants (13 à 40 % pour les boutures et 23 à 47 % pour les plants de fortes dimensions). Certaines plantations de boutures de saules effectuées dans un site situé en sous-bois s'y sont bien établies, mais leur hauteur totale ($F = 15,484$; $P = 0,0001$, $dl = 1$) et leur croissance annuelle ($F = 28,671$; $P = 0,0001$, $dl = 1$) étaient généralement plus faibles qu'aux autres sites, possiblement à cause d'un ensoleillement moins propice.

Conclusion

La méthode d'excavation mécanique avec ensemencement a été la plus efficace pour diminuer l'étendue des clones de roseau, mais elle pouvait induire des conséquences significatives sur la végétation indigène et les habitats situés à l'emplacement ou à proximité des superficies traitées. L'arrachage manuel a été utilisé principalement lorsque les clones de roseau étaient petits et peu denses. Cette méthode s'est avérée simple et facile à mettre en œuvre, mais très exigeante en main-d'œuvre (1 à 4 heures et de 1 à 6 personnes par clone de roseau); elle pouvait parfois engendrer des répercussions non négligeables sur la végétation indigène et les sols. De même, les rhizomes ne pouvaient pas tous être enlevés lorsqu'ils étaient entremêlés aux racines d'autres plantes. Le bâchage s'est avéré avantageux pour traiter des clones de roseau d'une superficie inférieure à quelques centaines de mètres carrés et difficiles d'accès. Néanmoins, il peut

être judicieux d'opter pour l'utilisation de panneaux en fibre de bois lorsque la superficie des clones est supérieure à 100 m², car ceux-ci sont plus faciles à transporter que les bâches. La fauche a été choisie pour traiter les clones de roseau de la plupart des sites situés des côtés est et ouest du marais, afin de favoriser la compétition végétale. Par contre, la densité de tiges augmente fortement quelques années après une fauche, ce qui a aussi été montré dans certaines études (Güsewell, 2003; Karathanos et collab., 2015). L'objectif poursuivi lors de la fauche des clones consistait principalement à limiter la propagation du roseau en se basant exclusivement sur des techniques peu invasives, soit la plantation d'arbustes en périphérie de ceux-ci, afin de créer une barrière forestière à moyen terme. Du point de vue logistique, l'utilisation des boutures de saules comportait plusieurs avantages par rapport aux plants de saules de forte dimension: les premières étaient plus faciles à transporter (moins lourdes et encombrantes) et à planter. Ceci se traduisait par une importante économie de temps sur l'ensemble des étapes du processus. De plus, puisque l'orifice pratiqué dans la bâche pour y insérer la bouture était plus petit que celui nécessaire aux plants de fortes dimensions, les boutures contribuaient à maintenir la bâche plus près du sol et à limiter davantage la possibilité de croissance des roseaux à travers ces orifices.

Les principales observations à la suite des 4 années d'interventions de lutte intégrée contre le roseau exotique menées à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher suggèrent que le roseau commun y demeurera présent au cours des prochaines années. Néanmoins, sa propagation sera ralentie, étant donné que la compétition avec les plantations d'arbres et arbustes augmentera au fil des années (Boivin et collab., 2011).

La présence du roseau dans le marais ne devrait pas causer de problème majeur au fonctionnement de l'écosystème du marais tant que les superficies et les densités de tiges de roseau demeurent relativement faibles. La réalisation des nombreuses interventions visant à freiner ou à limiter la propagation du roseau exotique dans le marais s'est avérée particulièrement exigeante en main-d'œuvre (600 à 1000 heures par année) et nécessitait parfois la présence de nombreux bénévoles (4 à 8 personnes). En conséquence, les stratégies à mettre en place pour contenir ces clones de roseau à long terme devront tenir compte des ressources limitées et disponibles, tout en étant simples et proactives. La prévention, la détection précoce et l'intervention rapide sont les approches les plus efficaces pour lutter contre les espèces exotiques envahissantes (Hazelton et collab., 2014).

Le niveau d'eau du marais Léon-Provancher a été relevé au cours des dernières années. Il est possible que la création d'une zone inondée en permanence dans le marais puisse contribuer à la progression des quenouilles dans certaines parties du marais, ce qui aurait possiblement pour effet de limiter la propagation du roseau dans le marais. Au cours des prochaines années, il sera donc primordial de s'assurer que le niveau d'eau soit suffisamment élevé et stable dans le marais pour empêcher l'apparition de zones propices à la croissance du roseau.

Remerciements

Le projet de lutte intégrée au roseau commun dans la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher a été réalisé avec l'appui financier d'Environnement et Changement climatique Canada et de la Fondation de la Faune du Québec. La Société Provancher est également redevable à la Corporation du bassin de la Jacques-Cartier, au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), à Canards Illimités Canada, à l'Université Laval et à l'Association des Sauvaginiers de la Grande Région de Québec (ASGRQ) pour leur soutien professionnel et matériel. Les membres de la Société Provancher, ainsi que les employés d'Intact Assurance, de Pricewaterhouse Coopers (PwC) Canada et de Desjardins méritent un merci tout spécial pour leur aimable et importante participation bénévole aux travaux de terrain. Les interventions de 2013 et de 2015 ont été réalisées par les Aménagements Fauniques et Forestiers Montérégien (AFFM) avec la collaboration technique du Groupe SM international. À tous ces organismes et toutes ces personnes, la Société Provancher exprime sa plus sincère gratitude. Enfin, une mention de remerciement se doit d'être soulignée pour le travail accompli par les évaluateurs scientifiques qui ont participé à la révision du manuscrit. ◀

Références

- AILSTOCK, M.S., C.M. NORMAN et P.J. BUSHMANN, 2001. Common reed *Phragmites australis*: control and effects upon biodiversity in freshwater nontidal wetlands. *Society for Ecological Restoration*, 9 (1): 11 p.
- 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 (4): 585-592.
- 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.
- 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 (7): 2243-2250.
- BOIVIN, P., A. ALBERT et J. BRISSON, 2011. Prévenir et contrôler l'envahissement des autoroutes par le roseau commun (*Phragmites australis*): Volet intervention (R538.3) et volet analytique 96 (R538.2). Rapport final préparé pour le ministère des Transports du Québec. Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal, Montréal, Québec, 39 p. et annexes.
- BOUTIN, A. et M. POULIN, 2013. Étude sur la restauration et la conservation d'habitats fauniques à la rivière des Mille Îles (Projet 630 9070 0300). Rapport final présenté au ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Éco-Nature, Laval, Québec, 199 p.
- BYUN, C., S. DE BLOIS et J. BRISSON, 2013. Plant functional group identity and diversity determine biotic resistance to invasion by an exotic grass. *Journal of Ecology*, 101: 128-139.
- COUPAL, M.-J., 2014. Programme d'élimination du *Phragmites* exotique dans les berges restaurées de la rivière Saint-Charles. Plantes envahissantes: éradication, contrôle, prévention. Direction générale de la formation continue, Université Laval, Québec (formation donnée les 4 et 10 novembre 2014).
- GAGNON-LUPIEN, N., G. GAUTHIER et C. LAVOIE, 2015. Effect of the invasive common reed on the abundance, richness and diversity of birds in freshwater marshes. *Animal Conservation*, 18: 32-43.
- GALATOWITSCH, S.M., N.O. ANDERSON et P.D. ASCHER, 1999. Invasiveness in wetland plants in temperate North America. *Wetlands*, 19(4): 733-755.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2018. Loi sur la qualité de l'environnement, chapitre Q-2. Disponible en ligne à: <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cs/Q-2.pdf>. [Visité le 2018-06-03].
- GÜSEWELL, S., 2003. Management of *Phragmites australis* in Swiss fen meadows by mowing in early summer. *Wetlands Ecology and Management*, 11: 433-445.
- HASLAM, S.M., 1972. *Phragmites communis* Trin. (*Arundo phragmites* L.,? *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel). *Journal of Ecology*, 60 (2): 585-610.
- HAZELTON, E.L.G., T.J. MOZDZER, D.M. BURDICK, K.M. KETTENRING et D.F. WHIGHAM, 2014. *Phragmites australis* management in the United States: 40 years of methods and outcomes. *AoB Plants*, 6 (plu001): 19 p.
- HUTCHINSON, R. A., et J.H. VIERS, 2011. Tarping as an alternative for Perennial Pepperweed (*Lepidium latifolium*) control. *Invasive Plant Science and Management*, 4 (1): 66-72.
- KARATHANOS, S., 2015. Lutte intégrée au roseau commun: prévention, confinement et éradication. Mémoire, Département de sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal. 121 p.
- KARATHANOS, S., N. RIVARD, J. BRISSON et C. LAVOIE, 2015. Limiter l'invasion du roseau commun sur des terres en friche. Parc National des Îles-de-Boucherville. Parc Québec - Bulletin de conservation 2015-2016, p. 23-26.
- KNEZEVIC, S.Z., R.E. RAPP, A. DATTA et S. IRMAK, 2013. Common reed (*Phragmites australis*) control is influenced by the timing of herbicide application. *International Journal of Pest Management*, 59(3): 224-228.
- LAROCHELLE, M., P. DUMONT, C. LAVOIE et D. HATIN, 2015. Varying effects of common reed invasion on early life history of northern pike. *Transactions of the American Fisheries Society*, 144: 196-210.
- LARSON, G.E., 1995. The aquatic and wetland vascular plants of the Northern Great Plains. U.S. Gen. Tech. Rep. Department of Biology & Microbiology, South Dakota State University, Brookings, SD 57007-0595.
- 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 (4): 537-549.
- LAVOIE, C., 2007. Le roseau commun au Québec: enquête sur une invasion. *Le Naturaliste canadien*, 131 (2): 5-9.
- LE GROUPE PHRAGMITES, 2012. Le roseau envahisseur: la dynamique, l'impact et le contrôle d'une invasion d'envergure. *Le Naturaliste canadien*, 136 (3): 33-39.
- 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.
- LELONG, B. et C. LAVOIE, 2014. Est-ce que le roseau commun exotique envahit les marais adjacents aux routes? *Le Naturaliste canadien*, 138(1): 13-19.
- 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.
- MAZEROLLE, M.J., A. PEREZ et J. BRISSON, 2014. Common reed (*Phragmites australis*) invasion and amphibian distribution in freshwater wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 22: 325-340.
- MEYER, S.W., S.S. BADZINSKI, S.A. PETRIE et C.D. ANKNEY, 2010. Seasonal abundance and species richness of birds in common reed habitats in Lake Erie. *The Journal of Wildlife Management*, 74: 1559-1566.
- MILLER, W.G., 2013. Statistics and measurement concepts with OpenStat. Springer-Verlag, New York, 237 p.
- MINCHINTON, T.E., J.C. SIMPSON, et M.D. BERTNESS, 2006. Mechanisms of exclusion of native coastal marsh plants by an invasive grass. *Journal of Ecology*, 94: 342-354.
- PARADIS, É., M.-È. BELLAVANCE, B. FONTAINE et J. BRISSON, 2014. Interspecific competition for space between wetland plants with clonal growth. *Wetlands*, 34: 1003-1012.
- PEREZ, A., M.J. MAZEROLLE et J. BRISSON, 2013. Effects of exotic common reed (*Phragmites australis*) on wood frog (*Lithobates sylvaticus*) tadpole development and food availability. *Journal of Freshwater Ecology*, 28 (2): 165-177.
- SALTONSTALL, K., 2003. Genetic variation among north American populations of *Phragmites australis*: implications for management. *Estuaries*, 26 (2): 444-451.

Reconstitution historique de l'invasion du Québec par le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*)

Romy Jacob-Racine et Claude Lavoie

Résumé

Le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*) est une plante vasculaire exotique envahissante qui colonise les lacs et les rivières de l'Amérique du Nord depuis plusieurs décennies. Nous avons reconstitué la progression historique de son invasion au Québec à l'aide de spécimens d'herbier, de bases de données, de rapports, de journaux et de périodiques. L'aire de répartition de la plante s'est beaucoup étendue depuis son introduction à la fin des années 1950. L'espèce s'est d'abord disséminée le long du fleuve Saint-Laurent. Elle s'est ensuite propagée à l'intérieur des terres à partir des années 1970. En 2017, 14 des 17 régions administratives du Québec comptaient au moins une mention de myriophylle à épis. Cela représentait 132 lacs, 16 rivières et ruisseaux — y compris le fleuve Saint-Laurent et ses lacs fluviaux — et 4 autres plans d'eau, tels que des étangs ou des voies navigables artificielles. À lui seul, le fleuve Saint-Laurent représentait 24 % des 322 mentions. Les régions avec le plus grand nombre de mentions sont celles de la Montérégie, des Laurentides, de l'Estrie et de l'Outaouais. Bien que l'envahissement par le myriophylle à épis semble avoir progressé de manière importante ces dernières années, il est possible que l'augmentation du nombre d'observations soit davantage le reflet d'une préoccupation grandissante des acteurs du territoire par rapport à l'envahisseur que d'une accélération réelle de l'invasion.

MOTS CLÉS : bateau, herbier, lac, myriophylle à épis, *Myriophyllum spicatum*, plante exotique envahissante

Abstract

Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) is an exotic invasive vascular plant that has been colonizing North American lakes and rivers for several decades. The present study reconstructed its spread in Québec (Canada) using herbarium specimens, database records, reports, and articles in newspapers and scientific journals. The distribution of this plant has greatly expanded since its introduction in the late 1950s. The species first spread along the St. Lawrence River, and then from the 1970s, it started to establish further inland. In 2017, 14 of the 17 administrative regions in the province had at least one record of Eurasian watermilfoil, with reports from 132 lakes, 16 rivers (including the St. Lawrence River and its fluvial lakes) and brooks, and 4 other waterbodies, such as ponds or artificial waterways. The St. Lawrence River alone accounted for 24 % of the 322 records. The highest number of observations were from the Montérégie, Laurentides, Estrie and Outaouais regions. Although the invasion by this species appears to have progressed significantly in recent years, the increased number of records may, in part, reflect the growing concern of regional stakeholders, rather than an actual spread of the plant.

KEYWORDS: boat, Eurasian watermilfoil, herbarium, exotic invasive plant, lake, *Myriophyllum spicatum*

Introduction

Les invasions biologiques se manifestent lorsque des espèces sont introduites hors leur aire de répartition géographique naturelle, qu'elles parviennent à maintenir des populations viables dans leurs contrées d'introduction, et que ces populations prennent ensuite beaucoup d'expansion. Ces invasions ont souvent des effets écologiques et économiques considérables. Le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum* L.) — une plante vasculaire indigène en Europe, en Asie et en Afrique — est l'une de ces espèces envahissantes qui prolifèrent en Amérique du Nord (figure 1a). C'est une plante aquatique vivace à rhizomes de la famille des Haloragaceae (figure 1b). Des analyses génétiques suggèrent que les myriophylles à épis nord-américains ont une origine asiatique (Moody et collab., 2016). On ignore toutefois l'endroit et l'année exacts de l'introduction des premiers spécimens. Bien que la présence du myriophylle à épis ait été signalée à la fin des années 1880 (Reed, 1977), il est beaucoup plus probable

que son introduction sur le continent américain remonte aux années 1940, dans l'est des États-Unis, probablement dans la région de la ville de Washington, D.C. Les vecteurs de cette introduction ne sont pas connus, mais les hypothèses les plus plausibles sont une importation comme plante d'aquarium ou une introduction accidentelle de diaspores dans les eaux de lest de navires (Couch et Nelson, 1985). Aujourd'hui, le myriophylle à épis est observé dans tous les États américains au sud du Canada. Sa présence au Canada est aussi confirmée en Colombie-Britannique, au Nouveau-Brunswick, en Ontario et au Québec (Canadensys, 2017).

Romy Jacob-Racine (M. ATDR) est aménagiste du territoire et diplômée de 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

Le myriophylle à épis utilise la reproduction sexuée et la multiplication végétative pour se répandre. Il possède 3 principaux mécanismes de propagation, soit la production de graines, la fragmentation de ses tiges et l'expansion de son réseau de rhizomes (Smith et Barko, 1990). Bien que le myriophylle à épis puisse produire des graines viables en abondance, ce mode de reproduction ne semble pas prépondérant chez cette espèce (Aiken et collab., 1979). Cette forme de reproduction existe néanmoins, puisqu'on trouve un hybride entre le myriophylle à épis et le myriophylle de Sibérie (*M. sibiricum* Komarov), une plante indigène en Amérique du Nord qui lui ressemble beaucoup (Moody et Les, 2002). Une étude génétique effectuée dans quelques lacs de l'Ontario suggère toutefois que cet hybride ne serait pas envahissant (Borrowman et collab., 2014).

La fragmentation serait le principal moyen de propagation chez le myriophylle à épis, tant à l'intérieur des plans d'eau touchés que vers de nouveaux lacs, rivières et étangs (Aiken et collab., 1979). La fragmentation se fait de manière naturelle ou anthropique par le sectionnement des tiges causé par les hélices des moteurs hors-bord (Aiken et collab., 1979; Smith et Barko, 1990). Une fois au fond de l'eau, les fragments peuvent s'enraciner, puis être à l'origine d'un nouvel herbier. Ils peuvent dériver sur l'eau d'une partie d'un lac à une autre, mais également vers d'autres plans d'eau en passant par les rivières (Aiken et collab., 1979). Le mécanisme de dissémination le plus couramment rapporté pour expliquer le transport entre différents plans d'eau est toutefois la propagation de fragments accrochés aux bateaux et à leurs remorques (Buchan et Padilla, 2000). Enfin, l'expansion du réseau de rhizomes contribue pour sa part à l'étalement local d'un herbier de myriophylle (Madsen et Smith, 1997).

Le myriophylle à épis peut coloniser une vaste gamme d'habitats présentant des conditions physicochimiques très diverses. Il peut croître à des profondeurs de 1 à 10 m et supporter des pH de 5,4 à 10. Il prospère dans des eaux ayant une salinité allant jusqu'à 10 ‰, mais peut tout de même

tolérer une salinité jusqu'à 15 ‰ (Aiken et collab., 1979). Sa croissance est plus forte sur un substrat de texture fine avec un taux de matière organique de 10 à 25 % (Smith et Barko, 1990). Le myriophylle à épis peut proliférer dans des lacs oligotrophes, mésotrophes et eutrophes (Aiken et collab., 1979). Il semble que sa forte croissance ne soit pas tributaire de la concentration en phosphore de l'eau, mais plutôt de la disponibilité en azote dans les sédiments (Anderson et Kalff, 1986).

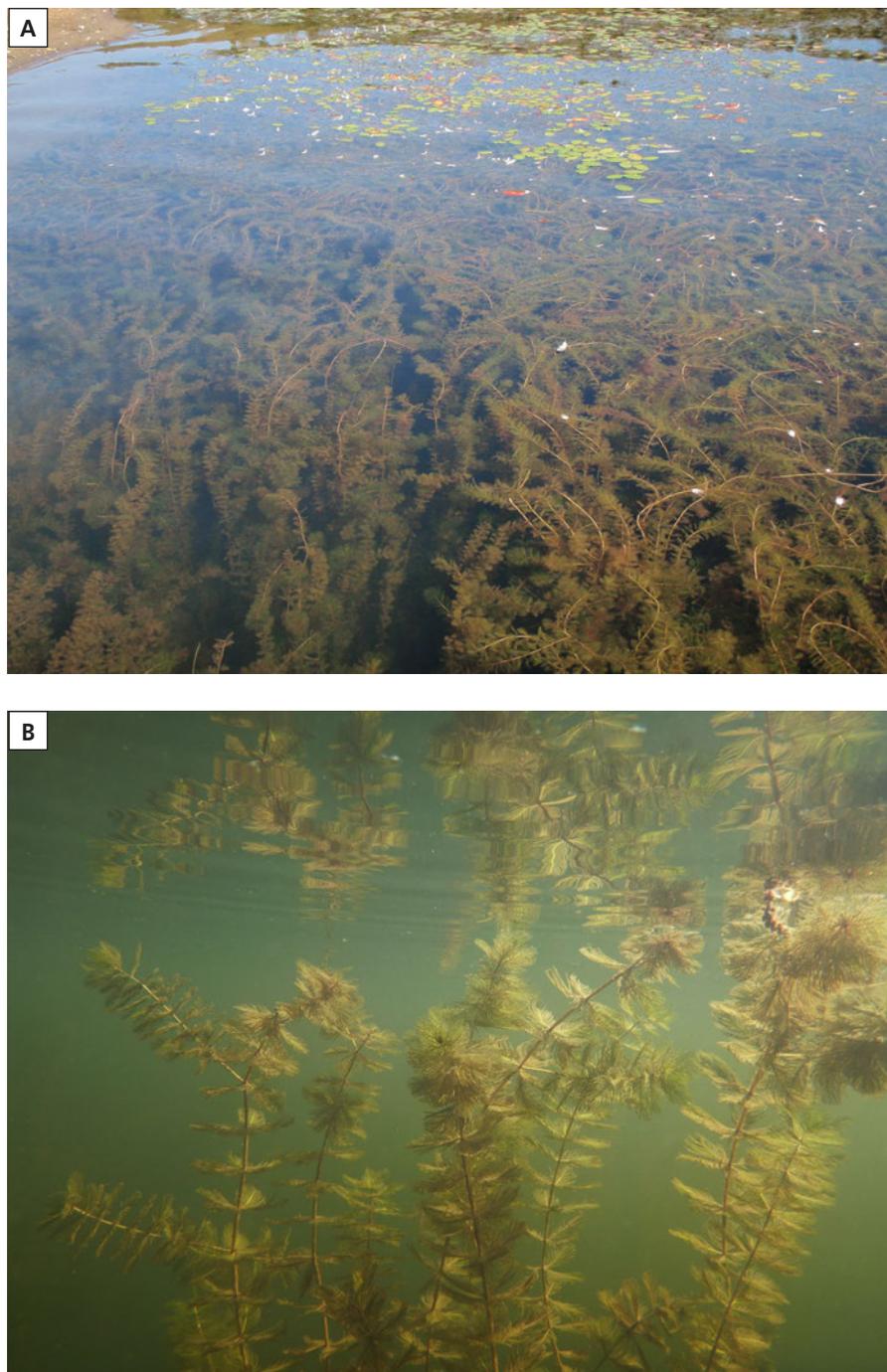


Figure 1. Myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*): A) milieu lacustre envahi par l'espèce; B) port général en prise de vue sous-marine.

L'analyse des impacts du myriophylle à épis sur l'environnement a reçu peu d'attention jusqu'à ce jour et repose sur un petit nombre d'études. Comme les lacs envahis ont souvent une forte empreinte humaine qui affecte leur équilibre, il est difficile de distinguer clairement l'effet du myriophylle à épis de celui des autres facteurs perturbateurs. La seule chose qu'il est possible d'affirmer, mais avec plus ou moins de certitude, c'est que moins d'espèces de plantes vasculaires indigènes sont observées dans les herbiers aquatiques une fois que les myriophylles recouvrent plus de 50 % de la surface du fond des plans d'eau affectés (Madsen et collab., 1991).

Les impacts économiques de l'envahissement d'un lac par le myriophylle à épis sont mieux connus. Quatre études réalisées aux États-Unis ont montré que sa présence pouvait occasionner une dépréciation de la valeur des propriétés riveraines d'environ 13 % en moyenne. En conséquence, les promoteurs immobiliers sont moins intéressés à construire des résidences près des lacs qu'ils savent envahis (Horsch et Lewis, 2009; Zhang et Boyle, 2010; Olden et Tamayo, 2014; Goodenberger et Klaiber, 2016; Liao et collab., 2016).

Au Canada, le myriophylle à épis a été aperçu à plusieurs endroits le long du fleuve Saint-Laurent dans les années 1960. Il ne semble toutefois pas s'être propagé en Ontario et au Québec avant les années 1970 (Aiken et collab., 1979). Les données sur sa présence se sont depuis accumulées, mais les observations sont souvent anecdotiques et ne sont pas toujours confirmées par une autorité compétente, ce qui est problématique, car la plante peut être confondue avec des espèces indigènes de myriophylle ou d'autres plantes aquatiques. Il est toutefois possible d'émettre l'hypothèse que la répartition géographique du myriophylle à épis au Québec est en expansion, étant donné son caractère envahissant. Pour le savoir, une mise à jour des connaissances sur la répartition de l'espèce s'imposait. La présente étude avait donc pour objectif de cartographier la répartition du myriophylle à épis au Québec, au meilleur des connaissances actuelles et à l'aide de différentes sources d'information.

Méthodes

Pour documenter la répartition du myriophylle à épis au Québec, les mentions de la plante provenant de diverses sources ont été recensées au cours de l'été 2017. Les spécimens de myriophylle à épis et de myriophylle de Sibérie conservés dans plusieurs herbiers canadiens ont été examinés pour non seulement constituer les cartes, mais aussi pour s'assurer qu'aucune erreur d'identification n'ait été commise. Les feuilles du myriophylle à épis possèdent généralement 24 à 36 segments foliaires, alors que celles du myriophylle de Sibérie en ont plutôt 13 à 15 (Scribailo et Alix, 2014).

Les spécimens examinés provenaient de l'Herbier national du Canada (CAN), de la Collection nationale de plantes vasculaires d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (DAO), de l'Herbier Marie-Victorin de l'Université de Montréal (MT), de l'Herbier Louis-Marie de l'Université Laval (QFA)

et de l'Herbier du Québec (QUE). Aux spécimens d'herbier ont été ajoutées les mentions de 2016 et de 2017 provenant d'un inventaire de terrain effectué par le Conseil régional de l'environnement des Laurentides dans les lacs de cette région (données non publiées). Quelques mentions additionnelles ont été extraites d'articles scientifiques (Carignan et Kalff, 1982; Duarte et Kalff, 1990). Toutes ces mentions constituent les sources les plus fiables dont on dispose pour produire une carte.

En mars 2017, les analystes régionaux du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec ont recensé, par divers moyens, la présence de myriophylle à épis dans les lacs de leurs régions respectives. Ces mentions ont été considérées dans ce travail. L'outil gouvernemental de science citoyenne *Sentinelle* (MDDELCC, 2017a) — qui permet de transmettre des signalements d'espèces exotiques envahissantes et de les insérer dans une base de données cartographique — a aussi été consulté pour trouver de nouvelles mentions (dernière consultation : 14 décembre 2017). Enfin, les mentions recensées par Auger (2006), dans son travail sur le myriophylle à épis au Québec, ont été prises en considération. Ce travail consistait à effectuer, à la demande du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec de l'époque, une revue de littérature afin d'évaluer le risque d'introduction du myriophylle à épis sur la pêche sportive. Toutes ces mentions sont en général assez fiables, mais elles ne peuvent être considérées au même titre que les spécimens d'herbier, puisqu'il n'était pas possible de vérifier leur authenticité hors de tout doute. Quelques-unes se sont d'ailleurs révélées erronées après consultation d'autres sources.

Enfin, des journaux et des périodiques québécois ont été consultés (dernière consultation : 1^{er} août 2017) à l'aide de la base de données Eureka.cc (CEDROM-SNI inc., 2017). Cette source d'information permet de recenser les cas les plus récents de présence du myriophylle à épis. Ce sont par contre aussi les mentions les moins fiables, car elles sont rarement validées par un botaniste. Ce travail s'est effectué en insérant dans le moteur de recherche le mot clé myriophylle et en utilisant les critères suivants : 1) article de presse de langue française, 2) de provenance géographique de la province du Québec, 3) de couverture géographique locale, nationale, provinciale ou régionale, et 4) dans toutes les archives disponibles. Les mentions relevées pouvaient être issues autant du sujet principal de l'article que du corps du texte. Lorsqu'un même article était publié dans plusieurs périodiques ou à des dates différentes, seule la plus ancienne publication était conservée dans la base de données.

Afin de produire la carte de répartition, une nouvelle base de données a été constituée. On a ainsi éliminé les redondances et conservé seulement les mentions les plus fiables pour chaque plan d'eau. Pour ce faire, 3 niveaux de certitude ont été attribués aux données. Le niveau de certitude le plus élevé (1) a été attribué aux spécimens d'herbier vus en personne ou à partir de photographies lorsqu'ils n'étaient accessibles que sous cette forme, ainsi qu'aux mentions en provenance de l'inventaire du Conseil régional de l'environnement des

Laurentides ou à celles extraites des articles scientifiques. Bien que les 6 spécimens de l'hybride entre le myriophylle à épis et le myriophylle de Sibérie — et identifiés comme tels — aient été consignés au départ, ils n'ont pas été pris en compte dans la version définitive de la base de données en raison de l'incertitude d'identification sans validation génétique (Scribailo et Alix, 2014). Le deuxième niveau de certitude (2) a été attribué aux mentions sans aucun spécimen d'herbier, soit celles en provenance de sources gouvernementales, de bases de données comme *Sentinelle* ou du travail d'Auger (2006). Le troisième et plus faible niveau de certitude (3) a été attribué aux mentions provenant des journaux et périodiques. La validité, le niveau de certitude ou l'ancienneté de quelques mentions ont été changés pour tenir compte des observations de terrain d'un biologiste spécialiste des eaux douces consulté pour ce travail, soit Richard Carignan, professeur retraité de l'Université de Montréal.

Le nom des plans d'eau, des municipalités où ils se trouvent, des régions administratives concernées, ainsi que les coordonnées géographiques (latitude et longitude) les plus précises possible des mentions — à défaut, le centroïde d'un lac — ont ensuite été vérifiées à l'aide de la Banque de noms de lieux du Québec de la Commission de toponymie du Québec (2017). Toute mention redondante a été éliminée en ne retenant d'abord que le niveau de certitude le plus élevé, puis en sélectionnant l'année de la plus vieille mention pour le niveau de certitude retenu. La base de données obtenue a été transférée dans un système d'information géographique (ArcGIS).

Résultats

Parmi les 800 mentions de myriophylle à épis recensées au départ, 322 ont été conservées pour réaliser la carte de répartition. Les mentions éliminées sont le fait de la redondance entre les diverses sources ou d'erreurs d'identification de l'espèce. Parmi les mentions conservées, 53 % ont reçu le premier niveau de certitude, 41 % le deuxième et 6 % le troisième.

À une exception près, seules les mentions du premier niveau de certitude ont permis de retracer la répartition du myriophylle de 1958 à 1990 (figure 2). Quant au nombre de mentions possédant le niveau de certitude 2, c'est à partir de 1991 qu'il a commencé à augmenter. Enfin, les mentions possédant le niveau de certitude 3 et qui, faute de mieux, ont dû être conservées pour cette cartographie ne représentaient qu'une faible proportion des cas rapportés depuis les 30 dernières années. Malgré le fait que le myriophylle à épis soit présent au Québec depuis presque 60 ans, 39 % des observations associées à des lacs ont été rapportées au cours des 6 dernières années (figure 3).

La plus ancienne mention du myriophylle à épis au Québec, soit le spécimen d'herbier QFA 0341985, remonte à 1958 et provient du lac Saint-Pierre, un élargissement du fleuve Saint-Laurent situé entre Sorel-Tracy et Trois-Rivières (figure 4). Aucune information plus précise sur la localisation n'a été inscrite sur ce spécimen. Les spécimens suivants ont également été récoltés aux abords du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de

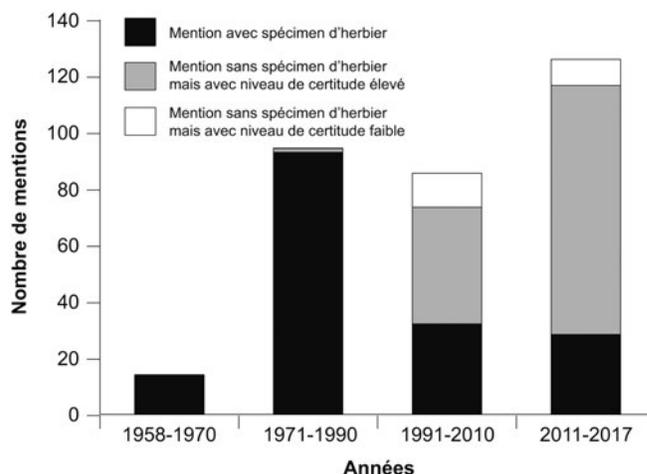


Figure 2. Distribution du nombre de mentions de myriophylle à épis au Québec selon le niveau de certitude des sources retenues et les années de récolte ou d'observation. Les mentions avec spécimens d'herbier incluent toutes celles du premier niveau de certitude.

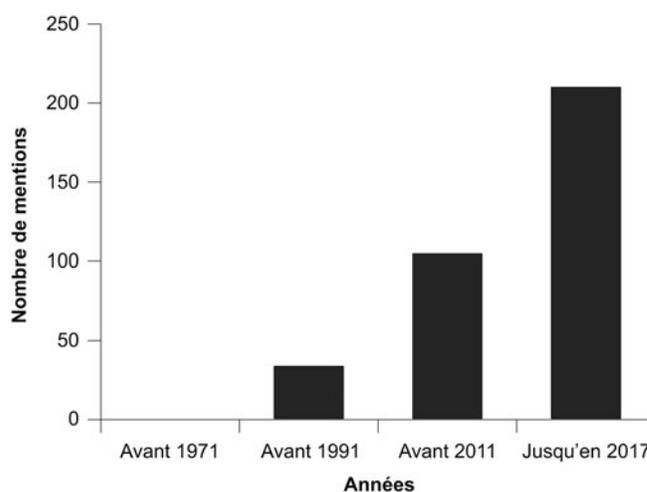


Figure 3. Évolution cumulative des mentions de myriophylle à épis dans les lacs du Québec, selon les années de récolte ou d'observation. Les mentions en provenance de lacs fluviaux du fleuve Saint-Laurent ne sont pas incluses dans ce graphique.

la ville de Québec en 1959 et près de la rive de la municipalité de Sainte-Pétronille, à la pointe ouest de l'île d'Orléans, en 1960. De 1958 à 1970, la quasi-totalité des spécimens a été récoltée dans le fleuve Saint-Laurent ou ses trois lacs fluviaux (lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre), à l'exception de 2 spécimens trouvés dans le fleuve à l'embouchure des rivières La Guerre (1967) et Delisle (1969), en Montérégie.

De 1971 à 1990, des mentions de myriophylle à épis ont été recensées pour la première fois dans des plans d'eau non tributaires du fleuve, soit en Estrie au lac Massawippi (1971), en Outaouais au lac Philippe (1971) et dans Lanaudière aux lacs Cloutier (1972) et Kaigamac (1973). À partir de 1974,

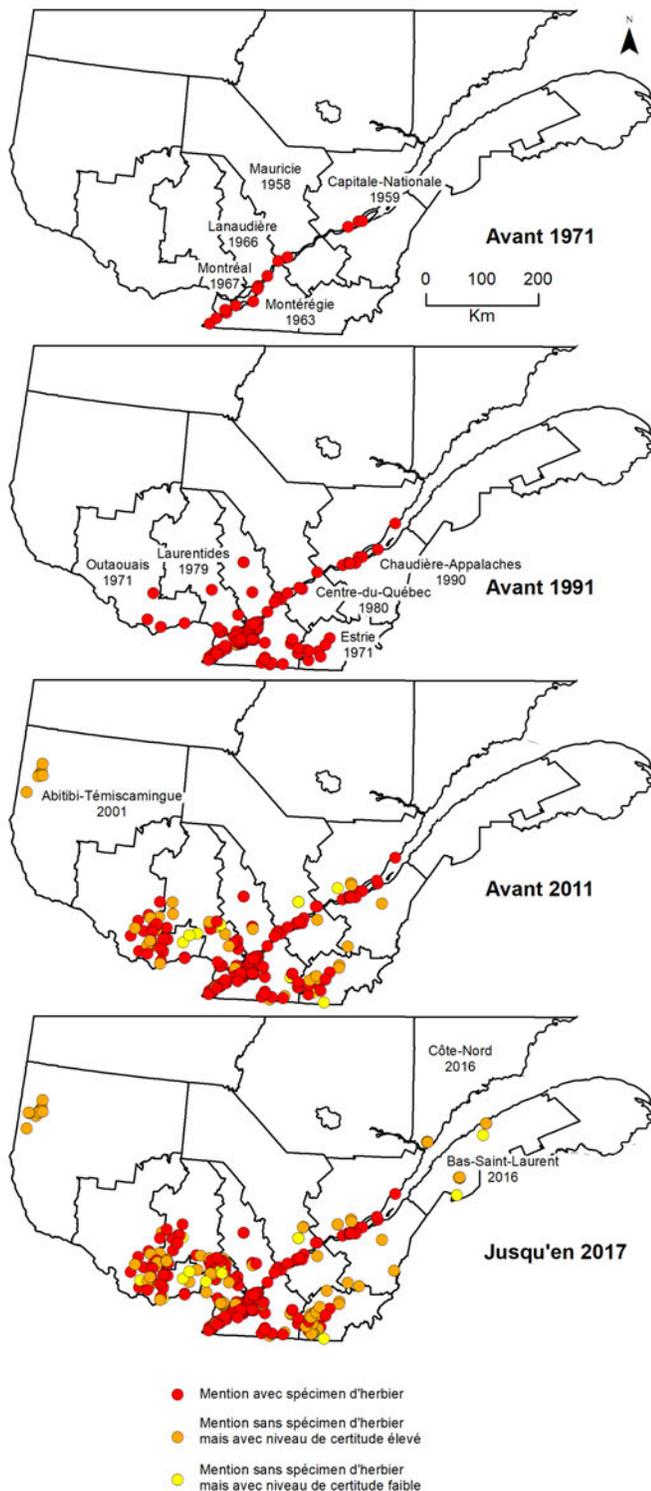


Figure 4. Reconstitution cartographique historique de l'invasion du myriophylle à épis au Québec entre 1958 et 2017, selon le niveau de certitude des mentions retenues. Les mentions avec spécimens d'herbier incluent toutes celles du premier niveau de certitude. La plus ancienne mention pour chaque région administrative du Québec est indiquée.

plusieurs spécimens d'herbiers ont été récoltés dans la rivière Richelieu (Monterégie). Le nombre de ceux prélevés dans le fleuve s'est aussi accru, passant de 18 à 47 de 1974 à 1976. Il faut toutefois préciser que 27 de ces mentions proviennent de collectes réalisées en 1975 par les deux mêmes botanistes. De 1991 à 2010, la plante a de nouveau été observée près du fleuve, mais également dans plusieurs lacs des régions de la Capitale-Nationale, du Centre-du-Québec et de la Mauricie. D'autres plans d'eau ont été touchés pour une première fois pendant cette période, notamment le lac Osisko, premier lac de l'Abitibi-Témiscamingue pour lequel la présence du myriophylle à épis a été rapportée (en 2001). Entre 2006 et 2009, d'autres mentions ont été signalées pour 6 autres lacs de cette région, tous situés aux alentours de Rouyn-Noranda. Le travail d'Auger (2006) a permis d'ajouter à la liste 31 mentions supplémentaires.

De 2011 à 2017, le nombre de mentions rapportées a augmenté considérablement dans l'ensemble des régions du Québec méridional (figure 3). Les premières observations de myriophylle à épis dans les régions de la Côte-Nord, aux lacs Gobeil et Jérôme, et du Bas-Saint-Laurent, aux lacs du Gros Ruisseau et Témiscouata, ont été notées en 2016. En 2017, 14 des 17 régions administratives du Québec comptaient au moins une mention de myriophylle à épis. Cela représentait 132 lacs, 16 rivières et ruisseaux (incluant le fleuve Saint-Laurent et ses lacs fluviaux) et 4 autres plans d'eau, tels que des étangs ou des voies navigables artificielles. À eux seuls, le fleuve Saint-Laurent et ses élargissements fluviaux représentaient 24 % des 322 mentions. Pour l'instant, seules les régions de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, du Nord-du-Québec et du Saguenay-Lac-Saint-Jean ne semblent pas touchées. Les régions ayant le plus grand nombre de mentions — parfois plusieurs en provenance d'un même lac ou du fleuve, mais d'endroits différents — étaient celles de la Monterégie (83), des Laurentides (65), de l'Estrie (51) et de l'Outaouais (42), soit 75 % du total général. Ces observations n'étaient toutefois pas réparties de façon homogène sur le territoire. Outre celles du fleuve, elles se concentraient (figure 4) dans certains bassins versants, tels ceux des rivières Richelieu et Châteauguay (Monterégie), Rouge et du Lièvre (Laurentides), Saint-François (Estrie) et Gatineau (Outaouais).

Discussion

La reconstitution historique de l'invasion du myriophylle à épis au Québec, à l'aide de différentes sources d'informations, montre que l'aire de répartition de la plante s'est beaucoup étendue depuis son introduction à la fin des années 1950. Elle a d'abord été observée le long du fleuve Saint-Laurent et s'est ensuite propagée à l'intérieur des terres à partir des années 1970. Le nombre de plans d'eau envahis semble avoir augmenté de manière importante depuis une dizaine d'années.

Il est très difficile de savoir d'où provient le premier spécimen aperçu au lac Saint-Pierre en 1958. Une des hypothèses serait qu'il pourrait avoir été transporté par une embarcation à partir des Grands Lacs, plus particulièrement

du lac Érié. Plusieurs spécimens de myriophylle à épis ont en effet été récoltés dans ce lac à partir de 1949 (Couch et Nelson, 1985). Il a aussi pu être rejeté dans le lac avec l'eau d'un aquarium domestique contenant du myriophylle à épis ou provenir d'eaux de lest d'un navire.

Dès les années 1960 et 1970, le myriophylle à épis commence à être observé et répertorié à plusieurs endroits en Ontario et dans quelques États américains limitrophes des Grands Lacs, tels que ceux du Michigan, de New York, et du Wisconsin (Couch et Nelson, 1985). Au Québec, les observations de la plante demeurent néanmoins confinées au fleuve Saint-Laurent jusqu'aux années 1970. Sa dissémination à partir de cette époque, dans les lacs et rivières de l'Estrie, des Laurentides et de l'Outaouais, coïncide avec l'accélération du développement du tourisme de masse et de la villégiature dans la province. À partir des années 1970, la villégiature a connu un essor important au Québec avec l'amélioration du réseau routier et l'augmentation du nombre de voitures personnelles (Gagnon, 2003). Les régions de l'Estrie, des Laurentides et de l'Outaouais ont été particulièrement touchées par ce phénomène en raison de leur proximité de Montréal et de l'agglomération Gatineau-Ottawa, ainsi que de leurs attributs géographiques et paysagers (MRNF, 2006). Cette dynamique prévaut encore aujourd'hui, car en 2014, près de 70 % de l'ensemble des ventes de propriétés de villégiature au Québec ont été réalisées dans les régions adjacentes à Montréal, particulièrement celle des Laurentides (Fédération des chambres immobilières du Québec, 2014; 2017).

Ce n'est toutefois pas tant la construction domiciliaire en tant que telle que l'augmentation du nombre de villégiateurs qui a probablement favorisé la propagation de la plante. Un plus grand nombre de villégiateurs augmente la probabilité de transport d'un fragment de myriophylle à épis d'un plan d'eau à un autre par le biais d'une embarcation non nettoyée. Le bassin versant de la rivière Rouge, dans les Laurentides, pourrait fournir un exemple d'un lien entre villégiature et myriophylle à épis, qui resterait par ailleurs à démontrer de manière statistique pour le Québec. Dans ce bassin, les observations de myriophylle à épis sont concentrées autour de la ville de Mont-Tremblant où la première mention remonte à 1979 (lac à l'Écart, anciennement lac Ouimet). La ville de Mont-Tremblant constitue le principal noyau d'attraction touristique de la région. En effet, avec 38 habitants par km², c'est là que se trouve la plus importante densité de population du bassin versant (Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon, 2011). Les activités nautiques y sont très répandues, puisque 65 % des villégiateurs possèdent un canot ou une chaloupe et 38 % un bateau à moteur (Gohier Marketing, 2006). La pêche sportive est également pratiquée sur les nombreux lacs de la région, autant pour la récolte d'espèces sauvages que d'espèces ensemencées annuellement (Canards Illimités Canada, 2007). La région des Laurentides est l'endroit où les retombées économiques liées à la pêche sportive sont les plus importantes au Québec, que l'on

considère les revenus ou les emplois (ÉcoRessources, 2014). Ce sont là des facteurs qui peuvent favoriser la dissémination du myriophylle à épis. Par ailleurs, la présence d'une rampe publique de mise à l'eau pour embarcations permet de prédire la présence de myriophylle à épis dans un lac (Rothlisberger et collab., 2010; Tamayo et Olden, 2014).

À partir des années 2000, l'espèce est détectée dans des plans d'eau de régions de plus en plus nordiques ou éloignées des grands centres urbains, telles que l'Abitibi-Témiscamingue (2001), le Bas-Saint-Laurent (2016) et la Côte-Nord (2016). Le succès de l'implantation du myriophylle à épis sous ces latitudes a peut-être été facilité par les changements climatiques. Cette plante pousse lorsque la température de l'eau est supérieure à 8°C. Une saison de croissance plus longue pourrait permettre d'étendre son aire de répartition vers des régions de plus en plus septentrionales (Patrick et collab., 2012).

Bien que l'envahissement par le myriophylle à épis semble avoir progressé de manière importante ces dernières années, on peut se demander si l'augmentation du nombre d'observations n'est pas davantage le reflet d'une préoccupation grandissante des acteurs du territoire par rapport à l'envahisseur que d'une accélération réelle de l'invasion. En effet, la plante est de plus en plus connue, notamment grâce aux campagnes de sensibilisation auprès des utilisateurs des plans d'eau. Les articles de journaux et de périodiques en donnent d'ailleurs une bonne indication. Ainsi, le nombre d'articles traitant du myriophylle à épis est passé d'une moyenne annuelle de 7 de 2000 à 2012, à au moins 147 pour la seule année 2017 (CEDROM-SNI inc., 2017). La mise en place, en 2002, d'un réseau de suivi volontaire de plus de 700 lacs de villégiature a peut-être aussi facilité la détection (MDDELCC, 2017b).

Compte tenu des coûts élevés qu'engendre la lutte au myriophylle à épis, la prévention de son introduction, que ce soit au niveau local (dans un lac) ou régional, demeure la stratégie la moins coûteuse à adopter (Rothlisberger et Lodge, 2011; Stewart-Koster et collab., 2015). Les régions encore peu touchées, mais où les lacs sont facilement accessibles, comme celles de la Capitale-Nationale, de la Mauricie ou du Saguenay-Lac-Saint-Jean, devront être particulièrement vigilantes. L'installation de stations de lavage d'embarcations opérées par du personnel bien formé (Rothlisberger et collab., 2010) et une surveillance accrue des lacs pour détecter les tout premiers individus de myriophylle à épis qui auraient pu, malgré tout, s'établir sont de loin les meilleures solutions pour empêcher la plante de se répandre ou pour juguler rapidement une invasion en devenir.

Remerciements

Ce travail a été financé par une subvention du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. Les commentaires de Richard Carignan, d'Isabelle Simard et d'un évaluateur anonyme ont permis d'améliorer la version préliminaire de cet article. ◀

Références

- AIKEN, S.G., P.R. NEWROTH et I. WILE, 1979. The biology of Canadian weeds. 34. *Myriophyllum spicatum* L. Canadian Journal of Plant Science, 59: 201-215.
- ANDERSON, M.R. et J. KALFF, 1986. Nutrient limitation of *Myriophyllum spicatum* growth in situ. Freshwater Biology, 16: 735-743.
- AUGER, I., 2006. Évaluation du risque de l'introduction du myriophylle à épis sur l'offre de pêche et la biodiversité des eaux à touladi. Revue de la littérature. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche de la Faune, Québec, 97 p.
- BORROWMAN, K.R., E.P.S. SAGER et R.A. THUM, 2014. Distribution of biotypes and hybrids of *Myriophyllum spicatum* and associated *Euhrychiopsis lecontei* in lakes of Central Ontario, Canada. Lake and Reservoir Management, 30: 94-104.
- BUCHAN, L.A.J. et D.K. PADILLA, 2000. Predicting the likelihood of Eurasian watermilfoil presence in lakes, a macrophyte monitoring tool. Ecological Applications, 10: 1442-1455.
- CANADENSYS, 2017. Base de données des plantes vasculaires du Canada (VASCAN). Disponible en ligne à : <http://data.canadensys.net/vscan/search?lang=fr>. [Visité le 2017-12-12].
- CANARDS ILLIMITÉS CANADA, 2007. Portrait des milieux humides. Région administrative des Laurentides (15). Canards Illimités Canada, Québec, 75 p.
- CARIGNAN, R. et J. KALFF, 1982. Phosphorus release by submerged macrophytes: significance to epiphyton and phytoplankton. Limnology and Oceanography, 27: 419-427.
- CEDROM-SNI INC., 2017. Eureka.cc. Disponible en ligne à : <http://eureka.cc/fr/>. [Visité le 2017-12-12].
- COMMISSION DE TOPONYMIE DU QUÉBEC, 2017. Banque de noms de lieux du Québec. Disponible en ligne à : <http://www.toponymie.gouv.qc.ca/ct/accueil.aspx>. [Visité le 2017-12-12].
- COUCH, R. et E. NELSON, 1985. *Myriophyllum spicatum* in North America. Dans : Anderson, L.W.J. (édit.). Proceedings of the first international symposium on watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) and related Haloragaceae species, July 23–24, 1985, Vancouver, British Columbia, p. 8-18.
- DUARTE, C.M. et J. KALFF, 1990. Patterns in the submerged macrophyte biomass of lakes and the importance of the scale of analysis in the interpretation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 47: 357-363.
- ÉCORESSOURCES, 2014. L'industrie faunique comme moteur économique régional – une étude ventilant par espèce et par région les retombées économiques engendrées par les chasseurs, les pêcheurs et les piégeurs québécois en 2012. Rapport préparé pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Québec, 81 p. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/statistiques/industrie-faunique-moteur-economique-regional.pdf>.
- FÉDÉRATION DES CHAMBRES IMMOBILIÈRES DU QUÉBEC, 2014. Les propriétés de villégiature au Québec. Fédération des chambres immobilières du Québec, Mot de l'économiste, octobre 2014, Montréal, 9 p.
- FÉDÉRATION DES CHAMBRES IMMOBILIÈRES DU QUÉBEC, 2017. Le segment des propriétés de villégiature a poursuivi son essor en 2016. Fédération des chambres immobilières du Québec, Mot de l'économiste, mars 2017, Montréal, 8 p.
- GAGNON, S., 2003. L'échiquier touristique québécois. Presses de l'Université du Québec, Québec, 390 p.
- GOHIER MARKETING, 2006. Étude sur les villégiateurs de la MRC des Laurentides. Gohier Marketing, Sainte-Agathe-des-Monts, 117 p.
- GOODENBERGER, J.S. et H.A. KLAIBER, 2016. Evading invasives: how Eurasian watermilfoil affects the development of lake properties. Ecological Economics, 127: 173-184.
- HORSCH, E.J. et D.J. LEWIS, 2009. The effects of aquatic invasive species on property values: evidence from a quasi-experiment. Land Economics, 85: 391-409.
- LIAO, F.H., F.M. WILHELM et M. SOLOMON, 2016. The effects of ambient water quality and Eurasian watermilfoil on lakefront property values in the Coeur d'Alene area of northern Idaho, USA. Sustainability, 8: 44.
- MADSEN, J.D. et D.H. SMITH, 1997. Vegetative spread of Eurasian watermilfoil colonies. Journal of Aquatic Plant Management, 35: 63-68.
- MADSEN, J.D., J.W. SUTHERLAND, J.A. BLOOMFIELD, L.W. EICHLER et C.W. BOYLEN, 1991. The decline of native vegetation under dense Eurasian watermilfoil canopies. Journal of Aquatic Plant Management, 29: 94-99.
- [MRNF] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2006. Portrait territorial: Laurentides. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction générale de la mission et de la coordination, Direction du soutien aux opérations Mines, Énergie et Territoire, Charlesbourg, 99 p.
- [MDDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2017a. Sentinelle. Disponible en ligne à : <https://www.pub.mddefp.gouv.qc.ca/scc/#no-back-button>. [Visité le 2017-12-14].
- [MDDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2017b. Réseau de surveillance volontaire des lacs. Disponible en ligne à : http://www.mddecc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/suivi_mil-aqua/rdv.html. [Visité le 2017-12-14].
- MOODY, M.L. et D.H. LES, 2002. Evidence of hybridity in invasive watermilfoil (*Myriophyllum*) populations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99: 14 867-14 871.
- MOODY, M. L., N. PALOMINO, P.S.R. WEYL, J.A. COETZEE, R.M. NEWMAN, N.E. HARMS, X. LIU et R. A. THUM, 2016. Unraveling the biogeographic origins of the Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) invasion in North America. American Journal of Botany, 103: 709-718.
- OLDEN, J. D. et M. TAMAYO, 2014. Incentivizing the public to support invasive species management: Eurasian milfoil reduces lakefront property values. PLoS One, 9: e110458.
- ORGANISME DE BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES ROUGE, PETITE NATION ET SAUMON, 2011. Portrait des bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon. Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon, Duhamel, 129 p. Disponible en ligne à : <http://www.apls.ca/wp-content/uploads/2014/09/Portrait-COMPLET-du-bassin-versant.pdf>.
- PATRICK, D.A., N. BOUDREAU, Z. BOZIC, G.S. CARPENTER, D.M. LANGDON, S.R. LEMAY, S.M. MARTIN, R.M. MOURSE, S.L. PRINCE et K.M. QUINN, 2012. Effects of climate change on late-season growth and survival of native and non-native species of watermilfoil (*Myriophyllum* spp.): implications for invasive potential and ecosystem change. Aquatic Botany, 103: 83-88.
- REED, C.F., 1977. History and distribution of Eurasian watermilfoil in United States and Canada. Phytologia, 36: 417-436.
- ROTHLISBERGER, J.D., W.L. CHADDERTON, J. MCNULTY et D.M. LODGE, 2010. Aquatic invasive species transport via trailered boats: what is being moved, who is moving it, and what can be done. Fisheries, 35: 121-132.
- ROTHLISBERGER, J.D. et D.M. LODGE, 2011. Limitations of gravity models in predicting the spread of Eurasian watermilfoil. Conservation Biology, 25: 64-72.
- SCRIBAILO, R.W. et M.S. ALIX, 2014. Haloragaceae R. Brown. Flora of North America, provisional publication. Flora of North America Association, Cambridge, 23 p.
- SMITH, C.S. et J.W. BARKO, 1990. Ecology of Eurasian watermilfoil. Journal of Aquatic Plant Management, 28: 55-64.
- STEWART-KOSTER, B., J.D. OLDEN et P.T.J. JOHNSON, 2015. Integrating landscape connectivity and habitat suitability to guide offensive and defensive invasive species management. Journal of Applied Ecology, 52: 366-378.
- TAMAYO, M. et J.D. OLDEN, 2014. Forecasting the vulnerability of lakes to aquatic plant invasions. Invasive Plant Science and Management, 7: 32-45.
- ZHANG, C. et K.J. BOYLE, 2010. The effect of an aquatic invasive species (Eurasian watermilfoil) on lakefront property values. Ecological Economics, 70: 394-404.

Approche méthodologique pour l'évaluation de l'utilité effective de la flore comestible de la forêt boréale en situation de survie

Manu Tranquard

Résumé

Au Québec, la forêt boréale est de plus en plus utilisée pour ses ressources naturelles et comme territoire de loisir. En raison du caractère isolé et parfois difficile de cet environnement, des situations critiques peuvent occasionnellement conduire des personnes à vivre un séjour prolongé en état de grande précarité, notamment sans autres moyens de subsistance que les ressources naturelles disponibles. Dans ce contexte, l'objectif de la présente étude est de proposer une méthode visant à quantifier le potentiel d'utilité effective d'un groupe d'espèces pouvant fournir une source d'alimentation de fortune à des victimes de situations de survie, et ainsi contribuer au maintien de leurs fonctions vitales. Ce potentiel a été établi grâce à une analyse multicritère de la répartition spatiale de la flore, de sa disponibilité temporelle, de son accessibilité physique, de sa valeur calorique et de son acceptabilité gustative. À terme, la connaissance du potentiel de ces espèces pourra être utilisée dans un contexte de formation des travailleurs et de sensibilisation des usagers de la forêt boréale au regard de l'usage réel qui peut être fait de la flore en contexte de survie; usage qui apparaît relativement limité au regard des espèces analysées.

MOTS CLÉS : flore comestible, forêt boréale, potentiel d'utilité effective, Québec, survie

Abstract

The boreal forest region of Québec (Canada) is being increasingly used for resource extraction and recreational purposes. This heightens the risk that people using this wilderness area will, one day, find themselves in a critical or survival situation. Because of the isolated and often rugged nature of this environment, such individuals may be forced to spend a long period under potentially dangerous conditions, notably without any food other than that naturally available. The objective of the present study was to develop a scientific profile of those elements of the Québec flora that are able to provide temporary sustenance for those in a survival situation, and so contribute to the maintenance of their vital functions. This potential was established using a multi-criteria analysis based on each species' spatial distribution, temporal availability, physical accessibility, caloric value, and palatability. Ultimately, knowledge of the potential of these species could be used in a context of worker training and to raise awareness of users of the boreal forest regarding the actual use that can be made of the flora in a context of survival; use which appears relatively limited for the analyzed species.

KEYWORDS: actual potential usefulness, boreal forest, edible wild plants, Québec, survival

Introduction

La forêt boréale québécoise constitue depuis de nombreuses décennies une zone privilégiée d'exploitation des ressources naturelles (minières, ligneuses, etc.). Il s'agit également d'un milieu traditionnellement utilisé pour la pratique des activités de chasse, de pêche et de piégeage (Tranquard, 2013). D'autre part, cette forêt héberge de plus en plus d'autres activités de loisir, telles que l'écotourisme et le tourisme d'aventure (KPMG, 2010; Tourisme Québec, 2007). L'extension des zones de prospection et la diversification des pratiques de loisir tendent ainsi à accroître la présence humaine dans des régions forestières isolées.

La forêt boréale comme lieu de tourisme se caractérise par une certaine rusticité résultant de l'absence d'infrastructures et par l'éloignement des secours (Mephram, 2013). Dans ce contexte, le risque encouru par les usagers de se trouver un jour confrontés à une situation critique ou de survie est accru (Curran-Sills et collab., 2013). Le terme « survie » réfère ici à une situation où les conditions dans

lesquelles un individu se trouve sont extrêmement dangereuses et, si elles persistent, potentiellement mortelles. Un épisode de survie correspond ainsi au laps de temps entre la survenance d'une urgence critique et le dénouement de la situation (Tranquard et Bourbeau, 2014). Cet épisode peut parfois conduire des personnes à vivre en forêt un séjour prolongé en contexte de grande précarité, notamment sans autres moyens de subsistance que les ressources naturelles disponibles. Pour parvenir à maintenir son homéostasie (c'est-à-dire l'équilibre des fonctions physiologiques et métaboliques), s'alimenter grâce aux ressources environnantes, notamment les espèces végétales, peut alors devenir une nécessité absolue.

Manu Tranquard (Ph. D., LL. M.) est professeure à l'Université du Québec à Chicoutimi. Il est aussi directeur de l'Unité d'enseignement en intervention plein air et chercheur au Laboratoire d'expertise et de recherche en plein air (LERPA).

Manu_Tranquard@uqac.ca

Ce type d'alimentation est d'ailleurs préconisé par bon nombre d'ouvrages destinés au grand public (Angier, 2014; Brown, 1983; Davenport, 1998; Défense nationale, 1992; Fry, 1981; Olsen, 1997). Or les options proposées reposent essentiellement sur des pratiques traditionnelles et ancestrales, sans s'appuyer nécessairement sur des bases scientifiques. La détermination de l'utilité des plantes se résume alors au paradigme monocritère de la comestibilité (Roy, 1987).

En zone boréale, la disponibilité spatiale et temporelle des végétaux est cependant réduite, en raison de la rusticité biologique du milieu. Cela limite d'autant la possibilité réelle d'en faire une source d'alimentation de fortune. D'autres considérations concernant la valeur nutritionnelle, ou encore la qualité gustative des végétaux, ne sont par ailleurs que très peu abordées. Enfin, on doit également tenir compte de l'extrême précarité spécifique au contexte de survie : en effet, le temps, les équipements et les outils font souvent défaut, et le manque d'énergie, l'obligation impérieuse de ne prendre aucun risque supplémentaire et la nécessité de préserver ses acquis contribuent à éloigner ce contexte d'une situation normale de récolte (Bourbeau et Tranquard, 2011). Pour parvenir à une étude éclairée de la question de l'utilité réelle des plantes boréales, il est alors possible de recourir à des outils d'analyse multicritère qui permettent d'agréger et de comparer une diversité d'informations de nature hétérogène (Martel et Rousseau, 1993).

Dans ce contexte, l'objectif de la présente recherche était de proposer une méthode visant à quantifier l'utilité effective d'un groupe d'espèces pouvant fournir une source d'alimentation de fortune à des victimes de situations de survie, et ainsi, de contribuer au maintien de leurs fonctions vitales. Le milieu forestier boréal québécois est le territoire à l'étude. Notre hypothèse de recherche est qu'il est possible de déterminer le potentiel d'utilité effective (PUE) de la flore comestible de la zone boréale. Ce PUE est établi au moyen d'une analyse multicritère de la répartition spatiale de la flore comestible, de sa disponibilité temporelle, de son accessibilité physique, de sa valeur calorique et de son acceptabilité gustative. Au-delà de la présentation de la démarche de modélisation de ce potentiel, les informations recueillies concernant les plantes elles-mêmes seront intégrées au programme de formations de survie en région isolée données par le Laboratoire d'expertise et de recherche en plein air (LERPA) dans le cadre de programmes universitaires et pourront servir à plusieurs organismes œuvrant en milieu naturel.

Méthodologie

La méthodologie retenue s'articule autour d'une démarche séquentielle combinant des revues de littérature, des analyses en laboratoire, des expérimentations sur le terrain et de la modélisation.

Liste des plantes indigènes comestibles

La première étape a été de réaliser une liste des plantes comestibles indigènes des zones forestières boréales. Le

caractère de comestibilité a été établi par le biais d'une revue de littérature spécialisée (Arnason et collab., 1981; eFloras, 2008; Fleurbec, 1981; Gregg, 1988; Kuhnlein et Turner, 1991; Revedin et collab., 2010; USDA, 2015; Usui et collab., 1994; Walker, 1984), et validé par une étude confiée à l'expert indépendant Fabien Girard, biologiste (Girard, 2008; 2013). Seules les plantes facilement identifiables et sans semblable ou jumeau toxique ont été conservées. Ces plantes devaient posséder suffisamment de caractéristiques morphologiques distinctives pour ne pas être confondues par des non-spécialistes avec des espèces non comestibles, notamment en situation de survie où le jugement peut être altéré. Par exemple, le comestible thé du Labrador (*Rhododendron groenlandicum*) n'a pas été retenu en raison d'un certain nombre de caractères semblables avec le toxique kalmia à feuilles étroites (*Kalmia angustifolia*).

La présence indigène en zone boréale québécoise a été établie à l'aide des bases de données Canadenses (Brouillet et collab., 2016) et PLANTS Database (USDA & NRCS, 2016). Les limites de la zone boréale ont été établies grâce à la carte officielle de Ressources naturelles Canada (Brandt, 2009). Les plantes retenues sont, dans l'ensemble, relativement connues du grand public (bleuet fausse-myrtille, framboisier rouge, noisetier à long bec). Le nombre important de noms vernaculaires de certaines espèces (p. ex. : la chicouté est aussi appelée plaquebière, ronce des tourbières ou ronce petit-mûrier) témoigne d'ailleurs d'une forme d'appropriation populaire. L'exploitation commerciale d'autres espèces (bleuet, canneberge) est un autre exemple de leur familiarité.

Disponibilité spatiale

La disponibilité spatiale, définie ici comme la densité de couverture géographique de chaque espèce, a ensuite été évaluée. Compte tenu des ressources disponibles limitées pour conduire la présente étude, la méthodologie retenue pour obtenir cette donnée a consisté à faire appel à l'expertise de 4 biologistes, techniciens et chercheurs spécialistes de 3 territoires forestiers distincts. Ces territoires étaient situés dans autant de domaines bioclimatiques caractéristiques de la forêt boréale : soit ceux de la sapinière à bouleau blanc (Forêt d'Enseignement et de Recherche Simoncouche : 48° 12' 48" N., 71° 13' 49" O.), de la sapinière à bouleau jaune (Mont Conelly : 49° 15' N., 71° 50' O.) et de la pessière à mousses (Réservoir Pipmuacan : 49° 54' 48" N., 70° 27' 28" O.) (Saucier et collab., 2003). Au sein de chacun des territoires, une parcelle de 10 km² a été inventoriée. Dans cette parcelle, les évaluateurs ont estimé l'abondance relative de chacune des espèces ciblées lors d'une dizaine de visites annuelles, réparties sur la totalité d'une année. Cette abondance, qui correspond à un coefficient de distribution ou d'occupation, a été traduite dans le cadre de la présente recherche par le terme « disponibilité spatiale ». L'évaluation s'est faite selon les critères présentés dans le tableau 1. Les cotes indiquent la rareté (1) ou l'abondance (10) des spécimens.

Tableau 1. Critères d'évaluation de l'abondance (disponibilité spatiale) des 25 espèces ciblées.

Très rare	Fréquence d'observation ≤ 1 par 50 jours de visite de site
Rare	Fréquence d'observation = 1 observation par 20 jours de visite de site
Commun	Fréquence d'observation = 1 observation par 10 jours de visite de site
Abondant	Fréquence d'observation = 1 observation par 2 jours de visite de site
Très abondant	Fréquence d'observation = 1 observation par jour de visite de site

Disponibilité temporelle

La disponibilité temporelle fait référence au moment de l'année et à la durée de la période pendant laquelle la partie comestible de la plante est effectivement consommable. Il s'agit plus spécifiquement du nombre de jours entre le moment où les fruits parviennent à maturité et celui où ils dépérissent et pourrissent, ou encore disparaissent en raison du prélèvement par la faune. Il peut également s'agir du nombre de jours pendant lesquels les jeunes pousses demeurent tendres, et où les tubercules et les rhizomes se forment, croissent et perdurent. Une revue de littérature spécialisée (eFloras, 2008; Fleurbec, 1981; PFAF, 2015; Walker, 1984) a permis d'établir cette durée.

Accessibilité physique

L'accessibilité physique correspond à la disponibilité réelle des spécimens. Elle est ici définie comme la facilité avec laquelle les parties comestibles des espèces sélectionnées peuvent être prélevées et consommées. En effet, ce n'est pas parce qu'une espèce produit des fruits à un moment donné de l'année qu'il est alors facile physiquement de les récolter à des fins de consommation. Cette accessibilité a été évaluée par le biais d'expérimentations sur le terrain conduites à l'époque de l'année où les parties comestibles étaient disponibles (p. ex. : fruits à maturité). Plusieurs territoires de prélèvement ont été retenus : Saint-Fulgence et la Forêt d'enseignement et de recherche Simoncouche au Saguenay, Chute-aux-Outardes et Grandes-Bergeronnes sur la Côte Nord, ainsi que le mont Connelly et Saint-Félicien au Lac-Saint-Jean. Lors de cette étape, 2 éléments ont alors été mesurés : la facilité de prélèvement (durée entre la vue d'un spécimen et sa récolte, nombre d'étapes et d'outils requis, risques potentiels de blessure lors du prélèvement) et la facilité de préparation avant ingestion (étapes et équipements requis pour apprêter le spécimen, risques potentiels de blessure lors de la préparation). À partir de ces critères, une note sur 10 a pu être attribuée à chaque espèce. Par exemple, la note maximale de 10 correspond à un fruit dont la récolte peut se faire en moins d'une minute après avoir été localisé, sans qu'on ait à le déterrer ou à grimper pour y accéder, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un outil spécifique et sans aucun risque d'écharde, de chute, etc.

Valeur calorique

La cinquième étape de notre méthode consistait à colliger les informations concernant la valeur calorique de chaque espèce. Cette valeur sert à quantifier l'énergie apportée par la consommation d'un aliment; elle s'établit en déterminant les quantités de protéines, de glucides et de lipides présentes dans celui-ci (Merrill et Watt, 1955). La valeur calorique a été établie à partir de bases de données existantes (Arnason et collab., 1981; Gregg, 1988; Kuhnlein et Turner, 1991; Mazza, 2005; USDA, 2015; Usui et collab., 1994). Pour les espèces non documentées, elle a été déterminée en laboratoire selon la méthode Atwater (EnviroX, 2016). Par ailleurs, il est à noter que les propriétés médicinales des plantes étudiées n'ont pas été prises en compte.

Acceptabilité gustative

La sixième étape a porté sur l'évaluation de l'acceptabilité gustative des diverses espèces. L'objectif était d'évaluer non pas la comestibilité (établie pour toutes les plantes retenues), mais leur capacité à être facilement consommées en raison de leur goût. Il existe en effet une différence majeure entre la comestibilité, c'est-à-dire le fait qu'une plante puisse être théoriquement mangée par l'homme (pour des raisons d'absence de toxicité par exemple), et la possibilité réelle qu'elle soit ingérée en quantités suffisantes pour constituer un apport nutritionnel significatif. À titre d'exemple, bon nombre d'ouvrages de survie indiquent que les grands nénuphars jaunes (*Nuphar variegata*) sont comestibles pour les humains (Brown, 1983; Défense nationale, 1992). Le rhizome de nénuphar est en effet consommable en théorie, mais beaucoup trop tannique, même après plusieurs ébullitions, pour être ingéré et digéré. Le goût détestable surpasse la comestibilité de principe. Mangé en quantité, le rhizome pourrait produire des vomissements qui feront perdre davantage de calories et de nutriments que ce qui aura été ingéré. Dans un contexte de survie, le bilan bénéfices/coûts est donc négatif. Les graines, quant à elles, contiennent des glycosides toxiques pour les humains. L'évaluation de l'acceptabilité gustative a été conduite selon les normes et protocoles ayant cours dans l'industrie agroalimentaire. Le test mis en œuvre a impliqué un panel de 30 dégustateurs¹ dans le cadre d'une épreuve de notation hédonique. Dans un environnement contrôlé, les sujets ont été invités à indiquer l'intensité du plaisir (ou du déplaisir) qu'ils ressentent quand ils évaluent le goût du produit présenté, selon l'échelle présentée au tableau 2. Les spécimens ont été soumis au test selon une présentation monadique séquentielle : plusieurs produits sont évalués par un sujet au cours de la même séance, mais aucun retour sur un produit déjà évalué n'est autorisé. Le test répondait aux normes NFV 09-500 et NFV 09-015:1985 (AFNOR, 2000).

1. Certificat d'approbation éthique # 602.479.01 du 18 juin 2015.

Tableau 2. Échelle d'évaluation du plaisir (ou du déplaisir) gustatif lors de la consommation des 25 espèces ciblées (normes NFV 09-500 et NFV 09-015:1985).

1	Extrêmement désagréable
2	Très désagréable
3	Désagréable
4	Plutôt (assez) désagréable
5	Correct (ni agréable, ni désagréable)
6	Plutôt (assez) agréable
7	Bon, agréable
8	Très bon, très agréable
9	Extrêmement agréable, délicieux

Utilité effective des plantes

Les données brutes obtenues lors des précédentes étapes ont par la suite été agrégées et mises en perspective. Les espèces végétales ont ainsi été classées par ordre de pertinence ou d'utilité en contexte de survie sur la base d'une combinaison de critères ou facteurs. Principalement, une variante de la méthode de multiplication des ratios (ou *Weight Product Method*) a été appliquée. Il s'agit d'une multiplication simple des critères entre eux sans passer par l'étape « ratio », qui permet aussi d'obtenir des résultats cohérents, et ce, malgré des échelles ou des unités différentes (Schärlig, 1985).

Disponibilité réelle des parties comestibles

Les résultats des 2 premières étapes de recherche permettent d'aborder la question de la disponibilité réelle des parties comestibles des espèces. La première étape a conduit à établir leur abondance moyenne ou disponibilité spatiale; la seconde à relever leur disponibilité temporelle. La combinaison de ces 2 informations permet d'établir la disponibilité totale ou réelle, soit le taux moyen de présence ou d'occupation d'une espèce en forêt boréale multiplié par le nombre de jours où les parties comestibles de cette même espèce sont réellement disponibles à la consommation. La disponibilité réelle des plantes comme source d'alimentation tient donc compte à la fois de l'espace et du temps. Elle permet d'identifier les plantes très communes en forêt boréale qui offrent par ailleurs des fruits, des pousses, des noix ou des rhizomes disponibles pendant une longue période. Ce sont donc, par définition, les sources d'alimentation d'origine végétale qu'une personne égarée en forêt trouverait plus facilement lors d'un séjour non planifié.

Accessibilité effective

Pour savoir si ces sources d'alimentation existantes sont effectivement utilisables, il convient de prendre également en compte leur accessibilité physique, soit la capacité d'une personne à prélever ces parties de plantes et à les apprêter pour pouvoir les consommer. La combinaison de la disponibilité réelle et de l'accessibilité physique est ici dénommée accessibilité effective. Elle équivaut à la disponibilité totale multipliée par l'accessibilité physique/100.

Accessibilité alimentaire

À ce stade-ci de la recherche, 2 facteurs restent à prendre en considération : l'acceptabilité gustative et l'apport calorique des spécimens. Pour ce faire, il est possible de calculer l'accessibilité alimentaire des spécimens, entendue comme la combinaison de leur accessibilité effective et de leur appréciation gustative. La possibilité de disposer des bénéfices alimentaires potentiels des plantes comestibles tient en effet tout à la fois à leur présence dans l'espace et le temps, et à la capacité de s'en saisir, mais également à la condition de pouvoir les ingérer et les digérer.

Potentiel d'utilité effective

La prise en compte de l'apport calorique des spécimens vient conclure l'analyse. En intégrant l'apport calorique théorique de chaque spécimen à l'évaluation de son accessibilité alimentaire, on transforme alors le potentiel de bénéfice alimentaire en potentiel de bénéfice énergétique. Ce dernier est la possibilité de tirer un bénéfice physiologique des plantes comestibles disponibles. Considérant l'ensemble des facteurs et critères qu'il inclut, nous l'avons dénommé « potentiel d'utilité effective (PUE) » de la flore comestible boréale. Sa détermination quantitative constitue l'objectif final de la présente recherche. Le potentiel d'utilité effective est donc la combinaison de l'accessibilité alimentaire des spécimens et de leur apport calorique. Il constitue une nouvelle approche dans l'analyse de la flore boréale. Sa formule s'établit de la manière suivante :

$$PUE = \frac{Ds \times Dt \times Ap \times Ag \times Ac}{100}$$

où PUE = Potentiel d'utilité effective,
 Ds = Disponibilité spatiale (/10),
 Dt = Disponibilité temporelle des parties comestibles (en jours),
 Ap = Accessibilité physique (/10),
 Ag = Appréciation gustative (/10) et
 Ac = Apport calorique (en kcal/100 g).

Résultats

Liste des plantes retenues

Au terme de la première étape, 90 plantes comestibles avaient été identifiées (Girard, 2013). Cette liste a ensuite été réduite à 25 espèces (tableau 3) à partir des critères d'exclusion préalablement identifiés (indigènes, disponibles, facilement identifiables, parties comestibles a priori consistantes et roboratives). À noter que la quenouille à feuilles étroites (*Typha angustifolia*), bien que parfois considérée comme une espèce introduite envahissante (Galatowitsch et collab., 1999; Selbo et Snow, 2004; Smith, 2000) est ici abordée comme une espèce indigène au regard de sa longue présence et de son abondance sur le territoire québécois (Houlahan et Findlay, 2004). Le choix de limiter l'analyse à 25 plantes s'est fait par ailleurs sur des considérations pratiques; d'autres espèces répondaient en effet aux critères d'inclusion. Le nombre de 25 plantes a cependant rendu plus facilement réalisables

Tableau 3. Analyse multicritère de 25 espèces végétales indigènes et comestibles de la forêt boréale.

Nom scientifique	Nom commun	Parties comestibles analysées	Abondance (moyenne /10)	Durée de disponibilité (jours)	Accessibilité physique (/10)	Calories (kcal pour 100 g frais)	Acceptabilité gustative (moyenne /10)
<i>Amelanchier</i> sp.	Amélanchier	Fruits	5,3	15	10,0	69	7,1
<i>Aronia melanocarpa</i>	Aronie à fruits noirs	Fruits	1,7	30	10,0	47	4,2
<i>Chamerion angustifolium</i>	Épilobe à feuilles étroites	Pousses	3,7	15	9,3	17	6,5
<i>Cornus canadensis</i>	Quatre-temps	Fruits	10,0	30	10,0	41	6,7
<i>Corylus cornuta</i>	Noisetier à long bec	Noix	4,7	60	8,6	631	9,3
<i>Empetrum nigrum</i>	Camarine noire	Fruits	1,0	120	10,0	35	5,0
<i>Gaultheria hispidula</i>	Petit thé	Fruits	7,3	60	10,0	63	8,6
<i>Gaultheria procumbens</i>	Thé des bois	Fruits	1,7	120	10,0	35	8,4
<i>Lycopus uniflorus</i>	Lycopée à une fleur	Tubercules	5,0	120	5,7	45	4,8
<i>Mentha arvensis</i>	Menthe des champs	Feuilles	1,0	60	10,0	45	7,6
<i>Prunus pensylvanica</i>	Cerisier de Pennsylvanie	Fruits	8,0	30	10,0	59	6,4
<i>Rubus chamaemorus</i>	Chicouté	Fruits	2,3	60	10,0	50	6,4
<i>Rubus idaeus</i>	Framboisier rouge	Fruits	9,0	60	9,3	61	9,9
<i>Rubus pubescens</i>	Ronce pubescente	Fruits	4,3	60	10,0	45	8,1
<i>Sagittaria latifolia</i>	Sagittaire à feuilles larges	Tubercules	2,3	120	2,7	103	6,6
<i>Streptopus lanceolatus</i>	Streptopée rose	Fruits	3,0	60	7,9	15	6,0
<i>Typha angustifolia</i>	Quenouille à feuilles étroites	Pousses	5,3	120	6,6	44	6,4
<i>Typha latifolia</i>	Quenouille à feuilles larges	Rhizomes	3,0	120	3,4	317	6,4
<i>Vaccinium angustifolium</i>	Bleuet à feuilles étroites	Fruits	8,0	60	10,0	55	9,6
<i>Vaccinium macrocarpon</i>	Canneberge à gros fruits	Fruits	1,0	60	10,0	46	6,7
<i>Vaccinium myrtilloides</i>	Bleuet fausse-myrtille	Fruits	8,0	60	10,0	42	9,6
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	Canneberge commune	Fruits	3,0	60	10,0	51	6,6
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Airelle rouge	Fruits	1,7	60	10,0	62	5,9
<i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	Viorne cassinoïde	Fruits	3,7	30	10,0	39	7,3
<i>Viburnum edule</i>	Viorne comestible	Fruits	5,7	30	10,0	39	4,7

les expérimentations en laboratoire et terrain, qu'il s'agisse des dégustations, des évaluations caloriques ou encore de l'évaluation de l'accessibilité physique des spécimens. Les principales familles représentées sont les éricacées (8) et les rosacées (6). Une moitié des espèces sont des arbustes, l'autre moitié des plantes herbacées. Les fruits sont les parties comestibles pour la plupart des espèces retenues.

Disponibilité spatiale

La disponibilité spatiale des espèces varie de 1 à 10. Les espèces dont les écosystèmes favorables sont les limites méridionale (canneberge à gros fruits) et nordique (camarine noire) de la zone boréale sont celles qui ont obtenu des disponibilités spatiales les plus faibles. En revanche, les espèces très rustiques (quatre-temps, framboisier rouge) sont présentes très souvent dans l'ensemble de la zone. La moyenne pour l'ensemble des espèces s'établit à 4,39/10, ce qui correspond à des espèces relativement communes (tableau 3).

Disponibilité temporelle

Les parties comestibles des espèces sélectionnées sont accessibles en moyenne 65 jours par an (tableau 3), avec un minimum de 15 jours pour les fruits de l'amélanchier et les jeunes pousses de l'épilobe et un maximum de 120 jours pour les espèces aquatiques (quenouilles et sagittaire à feuilles larges) ou les espèces particulièrement adaptées au froid (camarine noire, thé des bois). Les petits fruits charnus (framboise rouge, ronce pubescente, airelle rouge) se situent dans une moyenne de 60 jours. Ils ne sont donc disponibles que pendant 16 % de l'année. Les noisettes du noisetier à long bec le sont encore moins (30 jours) : non pas en raison du fruit lui-même qui peut, dans certaines conditions, se conserver plusieurs semaines, mais en raison de la nourriture qu'elles constituent pour certains animaux qui les récoltent en abondance.

Accessibilité physique

L'accessibilité physique des 25 espèces évaluées est en moyenne de 8,9/10 (tableau 3). Dix-sept espèces sur 25 ont obtenu la note maximale, notamment le bleuet fausse-myrtille, indiquant une très grande facilité de récolte. À l'inverse, la sagittaire à feuilles larges a obtenu une note moyenne de 2,7/10, soit la plus faible des espèces analysées. Cette faible accessibilité physique résulte du fait que son tubercule, étant immergé dans la vase sous l'eau, n'est pas directement accessible à la vue. La récolte idéale a en effet lieu vers la fin septembre, car c'est à cette période de l'année que les tubercules, qui constituent les réserves de la plante, sont les plus charnus. Toutefois, c'est également à cette période que les parties aériennes des plantes fanent et disparaissent, rendant les colonies de sagittaire impossibles à repérer. La récolte elle-même nécessite soit d'utiliser une gaffe pour gratter le fond du marais, soit de s'immerger afin de récolter à mains nues. En contexte de survie, les risques de blessures et d'hypothermie encourus lors d'une telle récolte sont non négligeables.

Les quenouilles sont d'autres espèces ayant obtenu un faible pointage dans cette évaluation (3,4/10), sensiblement pour des raisons identiques. En effet, les quenouilles sont des plantes aquatiques qui colonisent pratiquement les mêmes habitats que la sagittaire. Un mot supplémentaire doit toutefois être dit concernant cette plante, souvent présentée comme le « garde-manger » de la forêt. De toutes les espèces sélectionnées, les quenouilles sont en effet celles qui possèdent le plus de parties comestibles. Les jeunes pousses qui émergent de la base de chaque plant sont disponibles au printemps et peuvent être consommées crues ou cuites. Plus tard dans la saison, les épis mâles (verts) peuvent être mangés cuits. Lorsqu'ils fleurissent, ces épis produisent un pollen jaune qui s'apparente à une farine légère, également comestible. Enfin, les rhizomes de quenouilles sont riches en glucides. Cette réserve d'énergie est stockée à la base du rhizome. Ces glucides se présentent sous la forme d'une farine qui peut être extraite de diverses manières et qui est préférablement consommée cuite (figure 1). Les pousses de quenouilles se récoltent plus facilement que le rhizome. Il est ainsi aisé de tirer sur les tiges aériennes des plantes pour accéder aux pousses, alors que le rhizome n'est accessible qu'en sondant et grattant la vase. À noter que dans le cadre de la présente étude, seuls les pousses et les rhizomes ont été analysés.

Valeur calorique

Pour les 25 plantes sélectionnées, 100 g de portion fraîche des parties comestibles apportent en moyenne 82,2 kcal (tableau 3). À titre de comparaison, une banane en apporte 105 kcal; et 100 kcal correspondent à 1 tranche de pain blanc, à 4 carrés de chocolat, ou encore 35 g de viande de bœuf maigre (Santé Canada, 2008). La moyenne de 82,2 kcal pour les espèces analysées doit cependant être interprétée avec précaution puisque l'écart-type est en effet très grand (127,5), indiquant une très grande variabilité dans les valeurs caloriques. Ainsi, 3 espèces se démarquent fortement des autres avec des apports caloriques importants. Il s'agit de la sagittaire à feuilles larges (103 kcal/100 g pour la partie patate), de la quenouille à



Natalie Brunelle – Capture photographie, 2015



Natalie Brunelle – Capture photographie, 2015



Natalie Brunelle – Capture photographie, 2015

Figure 1. Parties aériennes (A), rhizomes (B) et farine (C) de quenouille (*Typha latifolia*).

feuilles larges (317 kcal/100 g pour le rhizome), mais surtout des noisettes du noisetier à long bec (631 kcal/100 g). Sans ces 3 plantes, la moyenne des espèces restantes serait de 46 kcal \pm 13,0, soit moins qu'une pomme. Au regard des besoins énergétiques requis, soit environ 2000 calories par jour, les plantes de la forêt boréale apportent donc en moyenne très peu de calories. Il faudrait en effet ingérer 4,8 kg de bleuets fausse-myrtille pour combler les besoins caloriques quotidiens.

Acceptabilité gustative

La moyenne de la valeur d'acceptabilité gustative s'établit à 7,1/10, soit un goût considéré comme bon ou agréable (tableau 3). Les spécimens les moins appréciés (aronie à fruits noirs, viorne comestible et lycoper à une fleur) ont été évalués comme plutôt désagréables, mais étaient très loin d'être considérés comme extrêmement désagréables ou immangeables.

A contrario, les spécimens les plus appréciés (framboise rouge, bleuet fausse-myrtille, noisette du noisetier à long bec), sont ceux qui s'apparentent le plus aux fruits accessibles quotidiennement dans le commerce. L'écart-type est très faible (1,6), ce qui souligne le peu de disparité entre les évaluations. Globalement et au vu des résultats de ce test, les 25 espèces retenues pourraient aisément être consommées en contexte de survie en forêt boréale, les espèces typiquement nordiques (thé des bois, quatre-temps, amélanchier ou bleuets) étant généralement appréciées.

Disponibilité réelle des parties comestibles

Les résultats montrent une très grande disparité dans la disponibilité réelle des plantes étudiées (tableau 4). Par exemple, la disponibilité réelle de l'aronie à fruits noirs est établie à 50 alors que celle de la quenouille à feuilles

Tableau 4. Analyse combinatoire de 25 espèces végétales indigènes et comestibles de la forêt boréale, et calcul de leur potentiel d'utilité effective (PUE).

Nom scientifique	Disponibilité réelle ¹	Accessibilité effective ²	Accessibilité alimentaire ³	Potentiel d'utilité effective (PUE) ⁴	Potentiel d'utilité effective (PUE) pondéré ⁵
<i>Amelanchier</i> sp.	80	8	57	39	20,55
<i>Aronia melanocarpa</i>	50	5	21	10	18,72
<i>Chamerion angustifolium</i>	55	5	33	6	11,67
<i>Cornus canadensis</i>	30	30	202	83	23,82
<i>Corylus cornuta</i>	280	24	222	1403	73,49
<i>Empetrum nigrum</i>	120	12	60	21	26,01
<i>Gaultheria hispidula</i>	440	44	376	237	34,60
<i>Gaultheria procumbens</i>	20	20	169	59	29,06
<i>Lycopus uniflorus</i>	60	34	165	74	34,31
<i>Mentha arvensis</i>	60	6	46	21	22,90
<i>Prunus pensylvanica</i>	240	24	154	91	26,18
<i>Rubus chamaemorus</i>	140	14	89	45	26,48
<i>Rubus idaeus</i>	540	50	496	302	35,41
<i>Rubus pubescens</i>	260	26	211	95	28,35
<i>Sagittaria latifolia</i>	280	8	50	51	40,08
<i>Streptopus lanceolatus</i>	180	14	84	13	17,48
<i>Typha angustifolia</i>	640	42	269	118	35,43
<i>Typha latifolia</i>	360	12	80	252	63,02
<i>Vaccinium angustifolium</i>	480	48	462	254	33,66
<i>Vaccinium macrocarpon</i>	60	6	40	18	22,86
<i>Vaccinium myrtilloides</i>	480	48	462	194	30,57
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	180	18	119	61	27,72
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	10	10	59	37	27,13
<i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	110	11	80	31	20,38
<i>Viburnum edule</i>	170	17	80	31	21,02

1. disponibilité spatiale (/10) \times disponibilité temporelle (en jours).
2. disponibilité spatiale (/10) \times disponibilité temporelle (en jours) \times accessibilité physique (/10)/10.
3. disponibilité spatiale (/10) \times disponibilité temporelle (en jours) \times accessibilité physique (/10) \times appréciation gustative (/10)/10.
4. accessibilité alimentaire \times apport calorique (kcal).
5. (disp. spatiale)^{2/14} \times (disp. temporelle)^{5/14} \times (accessibilité physique)^{1/14} \times (appréciation gustative)^{1/14} \times (apport calorique)^{5/14}.

étroites est près de 13 fois plus. Cette différence marquée entre les espèces à l'étude peut s'expliquer par la variabilité des caractères biomorphologiques des plantes en question et de leurs stratégies de reproduction. Les espèces dont la disponibilité réelle est importante (quenouilles, lycope à une fleur) correspondent à des plantes dotées de tubercules, un organe de réserve souterrain qui assure la survie des plantes par l'accumulation de substances de réserve, ce qui leur confère une période végétative plus longue (Gregory, 1965). Ces mêmes tubercules facilitent leur multiplication par voie végétative. D'autres espèces, comme le framboisier rouge, possèdent une disponibilité réelle élevée en raison de leur caractère vivace lié à leurs turions, ou hibernacles, type de bourgeon se développant sur la partie souterraine des plantes et favorisant la résistance hivernale (Williams, 2015). Le bleuet, quant à lui, est connu pour sa rusticité, son adaptation aux sols tourbeux, acides et froids ainsi qu'une bonne résistance au feu, la plante pouvant se multiplier par stolons (Chiasson et Agrall, 1996). En fin de compte, les espèces les plus disponibles sont logiquement les plus vivaces, en raison de leur rusticité, et les plus abondantes, grâce à leur stratégie de reproduction végétative adaptée aux environnements boréaux soumis aux froids et aux feux.

Accessibilité effective

Par rapport à l'analyse précédente, l'accessibilité effective calculée ne change pas radicalement la donne concernant la hiérarchisation des espèces, à l'exception notable des quenouilles et de la sagittaire à feuilles larges (tableau 4). Si, dans un premier temps, le calcul de la disponibilité réelle des espèces venait corroborer la littérature en valorisant la quenouille comme nourriture à considérer prioritairement, la prise en compte de l'accessibilité physique relative de ses rhizomes vient atténuer la pertinence de cette option. La situation est identique pour la sagittaire : la difficulté de prélèvement de la plante amoindrit de manière très importante la possibilité de pouvoir en disposer, quand bien même son caractère rustique la rend théoriquement disponible 120 jours par année.

Accessibilité alimentaire

L'ensemble des espèces considérées étaient généralement appréciées pour leur goût. Le calcul de leur accessibilité alimentaire ne modifie pas les classements établis préalablement (tableau 4). D'ailleurs, un phénomène d'amplification est même observé, les espèces ayant une valeur élevée d'accessibilité effective étant également celles qui sont les plus appréciées au goût. Ceci est particulièrement notable pour les framboisiers, les bleuets et le petit thé. Il serait logique de considérer ici que ces espèces étant particulièrement communes et accessibles, les probabilités d'y avoir déjà goûté sont plus élevées, ce qui augmenterait la notation positive attribuée lors de l'épreuve de dégustation. À l'inverse, les espèces à la comestibilité moins connue (épilobe à une fleur, aronie à fruits noirs) auraient pu pâtir d'une réaction négative liée à un effet « découverte » lors de cette même expérimentation.

Potentiel d'utilité effective

Au regard de cette évaluation finale, 5 espèces sortent du lot et offriraient un grand potentiel d'utilité effective lors d'une situation de survie en milieu forestier boréal : le noisetier à long bec, le framboisier rouge, le bleuet fausse-myrtille, les quenouilles et le petit thé (tableau 4). Le fait d'avoir conduit une analyse progressive des composantes du PUE permet de comprendre plus aisément les raisons qui conduisent à ce résultat. Le noisetier à long bec serait, et de loin, la plante à considérer préférablement en situation de survie. Son potentiel d'utilité repose essentiellement sur sa caractéristique unique en milieu boréal de fournir un apport calorique significatif; le seul de nature à pouvoir combler les besoins quotidiens sans avoir à en ingérer des quantités déraisonnables. Le potentiel élevé du framboisier rouge tient quant à lui à son accessibilité et à son acceptabilité gustative. Les quenouilles bénéficient pour leur part d'un cumul de caractéristiques favorables : réserve d'énergie importante dans le rhizome, présence assez commune et grande disponibilité temporelle. Le potentiel d'utilité effective élevé du petit thé, enfin, repose sur une bonne évaluation moyenne pour l'ensemble des critères analysés. À l'inverse, l'aronie à fruits noirs, l'épilobe à une fleur et le streptope rose pâtissent d'une faible disponibilité spatiale et temporelle, d'une moindre acceptabilité gustative et d'un faible apport calorique, même s'ils constituent des sources d'alimentation dont la récolte est aisée.

Discussion

L'approche proposée a permis de mettre en évidence l'utilité effective d'un groupe de plantes de la forêt boréale dans une perspective de survie. Une précision concernant la méthodologie doit toutefois être apportée. En effet, l'analyse combinatoire utilisée part du principe de l'équivalence de poids des critères (disponibilité spatiale, disponibilité temporelle, accessibilité physique, valeur calorique et acceptabilité gustative). Ainsi chacun des cinq critères serait équivalent dans l'appréciation du potentiel ou de la capacité d'une plante à servir de nourriture de fortune. Or, les valeurs obtenues n'ayant pas d'unités communes (base 10, jours ou kcal), un biais ou un poids disproportionnel est introduit. Ceci pourrait être réglé par des méthodes comme la standardisation (centrer-réduire), mais au-delà des transformations statistiques, la question de l'importance relative des critères se pose. Le biais relevé ici joue en faveur des plantes ayant un apport calorique important (le rapport est ici de 1 pour 42, le plus faible apport calorique étant de 15 kcal/100 g et le plus important, de 631 kcal/100 g). Établir le potentiel d'utilité effective sur cette base conduit donc à entériner que le critère le plus important pour la survie en forêt est le nombre de calories que les plantes comestibles contiennent. Ceci est *a priori* congruent avec l'objectif de maintenir ses fonctions vitales (Henderson, 1966) et d'accroître son temps de résistance. Le PUE ainsi déterminé conduirait donc à préconiser à un individu en situation de survie, et qui aurait à choisir entre plusieurs plantes disponibles et accessibles,

celles qui contiennent le plus d'énergie. Toutes choses étant égales par ailleurs, il est en effet préférable de manger 100 g de noisettes plutôt que 100 g de streptope rose.

Cependant, le potentiel d'utilité effective de la flore boréale, tel que modélisé et paramétré ici, ne concerne pas exclusivement l'apport calorique. Ce bilan doit permettre de recommander la récolte des plantes les plus utiles, mais aussi celles dont la possibilité de consommation est objectivement la plus réaliste ou probable. Il serait ainsi dangereux de préconiser à un individu en état de survie de déployer beaucoup d'énergie à trouver des noisetiers sous prétexte que les fruits contiennent un nombre élevé de calories, alors même que l'analyse précédente enseigne que les noisettes comestibles ne sont accessibles dans les faits qu'environ 30 jours par an. Ainsi, et afin de faire du PUE un critère adapté à l'objectif final de privilégier des sources d'alimentation de fortune en situation de survie, il y a lieu de considérer certaines règles établies concernant ce contexte spécifique. Dans le cadre d'une précédente recherche, Bourbeau et Tranquard (2011) ont en effet argumenté que l'essence de ce qui doit préoccuper une personne en situation de survie se résume à l'acronyme SÉRA, formé de la première lettre des mots-clés suivants : secours, énergie, risques et atouts. Les décisions à prendre dans un contexte de survie gagneraient selon ces analyses à s'inspirer de 4 objectifs :

1. Augmenter la probabilité de Secours;
2. Conserver l'Énergie vitale;
3. Minimiser les Risques encourus;
4. Préserver les Atouts.

Sur la base de cette proposition, on comprend que la décision de rester sur place ou de se déplacer, par exemple, nécessite d'évaluer et de comparer les risques reliés à l'une et l'autre des options. Une marche d'une heure en forêt à des fins de prospection et de récolte de plantes peut conduire à se déplacer de quelques kilomètres de son point de départ. Or, ce déplacement, s'il est réalisé par une personne en mauvaise condition physique ou psychologique, peut causer des problèmes qui pourraient ultimement réduire les chances de survie. Les risques encourus (se perdre davantage, complexifier le travail de recherche et sauvetage, se blesser, etc.) pourraient s'avérer mortels. De la même manière, la décision de rester sur place ou de se déplacer pour trouver de la nourriture nécessite d'évaluer les conséquences (en matière de bénéfices et de coûts) sur les atouts ou les acquis dont la personne dispose (ex : mouiller ou déchirer ses vêtements, perdre de l'équipement, devoir consommer toute l'eau disponible pour s'hydrater, s'éloigner d'une zone abritée par le couvert naturel, etc.). La décision de se mettre en quête de nourriture ne peut donc se poser uniquement sur le plan d'un apport calorique, car cet apport reste hypothétique. L'apport calorique n'est qu'un critère entrant dans l'analyse à produire concernant le rapport bénéfices/coûts lié à la récolte de plantes comestibles. Mais quel serait alors le poids relatif de ce critère ?

Dans le modèle SÉRA, la composante « énergie » est celle qui est fondamentale, puisque survivre signifie que l'énergie vitale n'est pas à 0. Les 3 autres composantes du modèle ne sont donc que des facteurs qui influencent le maintien du niveau d'énergie :

La quête de secours, si elle obtient des résultats, constitue une solution permanente qui permet de maintenir aisément le niveau d'énergie grâce aux commodités modernes. Les risques, pour leur part, s'ils se concrétisent, peuvent diminuer dramatiquement le niveau d'énergie vitale, voire le réduire à zéro, c'est-à-dire causer la mort. Les atouts ne sont que des éléments qui, lorsqu'ils sont suffisants, aident à maintenir stable ou à renouveler l'énergie, ou du moins à ralentir l'affaiblissement (Bourbeau, 2011 : 24).

En pratique, on estime qu'une marche dans la forêt « consomme » environ 400 kcal/heure (MDN ELF, 2009). Pour compenser cette déperdition d'énergie, il conviendrait que chaque heure de marche se solde au minimum par une récolte de 950 g de bleuets (*Vaccinium myrtilloides*); cela nécessite un terrain et des conditions particulièrement favorables. Une manière d'estimer si le rapport bénéfices/coûts est positif est de mettre en perspective l'apport calorique de chaque espèce par rapport à l'accessibilité physique des parties comestibles. Le tableau 5 hiérarchise les espèces selon ce rapport. On y observe que le

Tableau 5. Classement des espèces sélectionnées selon le rapport bénéfice nutritionnel/coût physiologique de récolte.

Nom scientifique	Bénéfice nutritionnel/coût physiologique de récolte	
	Apport calorique/ accessibilité physique	Apport calorique/ accessibilité effective (×10)
<i>Typha latifolia</i> (rhizome)	92,46	264
<i>Corylus cornuta</i>	73,62	263
<i>Sagittaria latifolia</i>	37,95	129
<i>Lycopus uniflorus</i>	7,88	13
<i>Amelanchier</i> sp.	6,90	86
<i>Typha angustifolia</i> (pousse)	6,70	10
<i>Rubus idaeus</i>	6,57	12
<i>Gaultheria hispidula</i>	6,30	14
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	6,20	62
<i>Prunus pensylvanica</i>	5,90	25
<i>Vaccinium angustifolium</i>	5,50	11
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	5,10	28
<i>Rubus chamaemorus</i>	5,0	36
<i>Aronia melanocarpa</i>	4,70	94
<i>Vaccinium macrocarpon</i>	4,60	77
<i>Mentha arvensis</i>	4,50	75
<i>Rubus pubescens</i>	4,50	17
<i>Vaccinium myrtilloides</i>	4,20	9
<i>Cornus canadensis</i>	4,10	14
<i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	3,90	35
<i>Viburnum edule</i>	3,90	23
<i>Empetrum nigrum</i>	3,50	29
<i>Gaultheria procumbens</i>	3,50	18
<i>Streptopus lanceolatus</i>	1,91	11
<i>Chamerion angustifolium</i>	1,83	34

noisetier à long bec est désormais devancé par les quenouilles en raison de la plus grande abondance de ces dernières en zone boréale. Cette dernière analyse conduit plus généralement à s'interroger sur la question du poids relatif des 5 critères.

Recommandations

Au terme de cette recherche, nous proposons ici qu'un potentiel d'utilité effective pondéré soit établi sur la base d'une non-équivalence des 5 critères, leur poids étant déterminé en fonction des particularités génériques d'une situation de survie, et ajusté au regard des analyses conduites précédemment. Ainsi :

- Les 2 critères qui coteraient le plus faible (1) seraient l'accessibilité physique et l'appréciation gustative. L'accessibilité physique des plantes est un facteur à considérer mais dont la portée en ce qui concerne la survie peut être limitée. Dans le pire des cas analysés (immersion des pieds et des mains dans l'eau d'un marais pour la récolte de sagittaires), les risques demeurent négligeables par rapport à une situation de mort potentielle par dénutrition et inanition. La récolte des spécimens étudiés ne génère pas des risques critiques (p. ex. : monter à la cime des arbres) et à ce titre, le poids de ce facteur demeure limité.
- L'appréciation gustative coterait également 1 puisqu'il est en pratique très hasardeux d'estimer la capacité de tout un chacun de manger des spécimens désagréables au goût dans une situation de survie réelle, sachant que par définition cette situation conduit à poser des gestes de dernier recours. La variabilité et la subjectivité de l'acceptabilité gustative ne permettent donc pas d'en faire un facteur absolu et prépondérant.
- La disponibilité spatiale des espèces coterait 2 puisque, crucialement, l'abondance des espèces conditionne la capacité de récolte. Mais la grande diversité des territoires et sous-écosystèmes présents en zone boréale, avec toutes les composantes floristiques qui les distinguent, conduit à relativiser ce critère comme facteur universel.
- La disponibilité temporelle et l'apport calorique seraient selon nous les 2 critères les plus déterminants. Au titre du PUE pondéré, ces critères coteraient 5 en raison de l'importance majeure qu'ils revêtent et de leur caractère plus objectif. Une plante, dont les parties comestibles le demeurent longtemps dans l'année et qui de surcroît fournissent un apport calorique conséquent, serait celle qu'une victime en situation de survie gagnerait à rechercher prioritairement.

Afin d'agréger l'importance relative des critères les uns par rapport aux autres, une pondération sera donc appliquée aux ratios (Roy, 1985), et une normalisation des poids sera opérée afin de garantir la lisibilité des résultats. Concrètement, le PUE pondéré sera calculé comme suit :

$PUE\ pondéré = Critère\ 1^a \times Critère\ 2^b \times Critère\ 3^c \times Critère\ 4^d \times Critère\ 5^e$
 où les poids seront normalisés, c'est-à-dire que la somme des poids est $(a + b + c + d + e) = 1$.

Ainsi, nous aurons :

$$PUE\ pondéré = Ds^{2/14} \times Dt^{5/14} \times Ap^{1/14} \times Ag^{1/14} \times Ac^{5/14}$$

où PUE pondéré = Potentiel d'utilité effective pondéré,

Ds = Disponibilité spatiale (/10),

Dt = Disponibilité temporelle des parties comestibles (en jours),

Ap = Accessibilité physique (/10),

Ag = Appréciation gustative (/10) et

Ac = Apport calorique (en kcal/100 g).

Le tableau 6 présente un classement des espèces étudiées réalisé selon cette méthode. Les espèces y sont indiquées par ordre décroissant de PUE pondéré. Ce classement constitue le résultat final de l'analyse conduite ici. Il établit une hiérarchisation des 25 plantes étudiées selon leur capacité à satisfaire les 5 critères de l'analyse multifacteurs tels que pondérés selon notre cadre de référence.

Tableau 6. Classement des espèces sélectionnées selon leur potentiel d'utilité effective (PUE) pondéré.

Nom scientifique	Potentiel d'utilité effective pondéré
<i>Corylus cornuta</i>	73,49
<i>Typha latifolia</i> (rhizome)	63,02
<i>Sagittaria latifolia</i>	40,08
<i>Typha angustifolia</i> (pousse)	35,43
<i>Rubus idaeus</i>	35,41
<i>Gaultheria hispidula</i>	34,60
<i>Lycopus uniflorus</i>	34,31
<i>Vaccinium angustifolium</i>	33,66
<i>Vaccinium myrtilloides</i>	30,57
<i>Gaultheria procumbens</i>	29,06
<i>Rubus pubescens</i>	28,35
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	27,72
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	27,13
<i>Rubus chamaemorus</i>	26,48
<i>Prunus pennsylvanica</i>	26,18
<i>Empetrum nigrum</i>	26,01
<i>Cornus canadensis</i>	23,82
<i>Mentha arvensis</i>	22,90
<i>Vaccinium macrocarpon</i>	22,86
<i>Viburnum edule</i>	21,02
<i>Amelanchier</i> sp.	20,55
<i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	20,38
<i>Aronia melanocarpa</i>	18,72
<i>Streptopus lanceolatus</i>	17,48
<i>Chamerion angustifolium</i>	11,67

Conclusion

Au terme de cette recherche, deux principales conclusions semblent s'imposer. La première est qu'à l'exception des noisettes à long bec et des quenouilles, aucune des plantes inventoriées ne pourrait combler à elle seule les besoins énergétiques quotidiens d'un individu sans qu'il ait à en ingurgiter des quantités astronomiques. Hormis ces 2 espèces, l'apport calorique moyen des plantes étudiées est en effet de 48 kcal/100 g. Pour absorber les 2000 kcal nécessaires, il conviendrait de manger plus de 4 kg de rhizomes, petits fruits ou autres. Sachant qu'une quantité de 2000 kcal est une moyenne basse pour une personne sédentaire, l'analyse revient à dire que les besoins humains reliés à l'alimentation ne sauraient être comblés en ayant exclusivement recours à la flore boréale analysée.

La seconde conclusion à tirer de nos résultats est que, quelle que soit l'option combinatoire retenue (PUE à critères équivalents ou PUE pondéré), les espèces potentiellement les plus utiles à des fins alimentaires (noisetier à long bec, quenouilles, sagittaire à feuilles larges, framboisier rouge ou encore bleuet fausse-myrtille) ne sont pas à strictement parler des espèces forestières, mais davantage des espèces qui colonisent les marges des forêts (à l'exception du petit thé). Les zones où ces plantes se trouvent généralement constituent des écotones ou zones de transition écologique entre un écosystème strictement forestier et un écosystème de type tourbière ou lac, par exemple dans le cas des quenouilles. On parle dans ce cas de zone riparienne. De la même manière, le noisetier à long bec et le framboisier rouge colonisent principalement les lisières de boisés puisque ces espèces ont besoin de lumière. C'est d'ailleurs en raison même de l'absence de couvert forestier dense que les fruits de ces arbustes peuvent croître. *A contrario*, une espèce caractéristique du milieu forestier boréal, comme le quatre-temps, aura un potentiel d'utilité effective réduit puisqu'il fournit peu de calories. De ce point de vue, la flore typique de la forêt boréale est peu propice à la survie. Pris au dépourvu au milieu d'une zone forestière densément peuplée, et sans autre considération en matière de priorité de survie, il conviendrait donc de se diriger vers des zones plus ouvertes afin de bénéficier d'une diversité floristique plus importante. On peut alors faire un parallèle avec une situation de survie sur une île déserte où le milieu le plus propice au prélèvement de sources d'alimentation est la zone intertidale, soit la zone de transition entre le milieu terrestre et le milieu marin (Défense nationale, 1992).

Remerciements

La présente recherche a pu être conduite grâce à un appui du Consortium régional de recherche en éducation (CRRE). Elle a également bénéficié de l'expertise scientifique des professeurs Hubert Morin, Ph. D. (Laboratoire d'écologie végétale et animale, UQAC) et Sébastien Gaboury, Ph. D. (Laboratoire d'intelligence ambiante pour la reconnaissance d'activités, UQAC), ainsi que du biologiste Fabien Girard. L'excellent travail de Mme Stéphanie Pellerin, rédactrice adjointe, des réviseurs scientifiques anonymes et de l'équipe du *Naturaliste canadien*, dont celui de Mme Denise Tousignant ainsi que de MM. Pierre Périnet et Jean-Sébastien Michaud, doit par ailleurs être souligné. ◀

Références bibliographiques

- AFNOR, 2000, NFV 09-500 : Analyse sensorielle – Méthodologie – Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques effectuées avec des consommateurs dans un espace contrôlé, et NFV09-015:1985 : Analyse sensorielle - Méthodologie – Classification des produits alimentaires - Méthodes utilisant des échelles et catégories.
- ANGIER, B., 2014. Comment survivre dans les bois : La référence absolue de l'aventure extrême. Hachette Aventure, Paris, 314 p.
- ARNASON, T., J. RICHARD et J. TIMOTHY, 1981. Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany*, 59 : 2189-2325.
- BOURBEAU, A.-F., 2011. Développement de l'expertise en survie. Laboratoire d'expertise et de recherche en plein air, UQAC, Chicoutimi, 73 p.
- BOURBEAU, A.-F. et M. TRANQUARD, 2011. Modèle de prise de décision SERA. Dans : Bourbeau, A.F. (édit.). *Le Survieathon, 25 ans plus tard*. Les éditions JCL, Chicoutimi, p. 291-292 et p. 501.
- BRANDT, J.P., 2009. The extent of the North American boreal zone. *Environmental Reviews*, 17 : 101-161 doi:10.1139/A09-004, Ressources Naturelles Canada. Carte disponible en ligne à : <http://www.rncan.gc.ca/forets/boreale/13072>. [Visité le 2015-01-22].
- BROUILLET, L., F. COURSOL, S.J. MEADES, M. FAVREAU, M. ANIONS, P. BÉLISLE et P. DESMET, 2010+. VASCAN, la Base de données des plantes vasculaires du Canada. Disponible en ligne à : <http://data.canadensys.net/vscan/> [Visité le 2016-01-20].
- BROWN, Jr., T., 1983. *Tom Brown's field guide to wilderness survival*. Berkley Publishing, New York, 282 p.
- CHIASSON, G. et J. AGRALL., 1996. Croissance et développement du bleuet sauvage. Ministère de l'Agriculture et de l'Aménagement rural du Nouveau-Brunswick. Feuillet d'information A.2.0. Disponible en ligne à : <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/10/pdf/Agriculture/WildBlueberries-BleuetsSauvages/a20F.pdf>. [Visité le 2018-05-12].
- CURRAN-SILLS G., N. McDONALD, PS. PAUERBACH et R. CRUTCHER, 2013. Embracing the wild: Conceptualizing wilderness medicine in Canada. *Canadian Family Physician*, 59 : 581-584.
- DAVENPORT, G., 1998. *Wilderness Survival*. Stackpole books, Mechanicsburg, 182 p.
- DÉFENSE NATIONALE, 1992. Manuel B-GL-382-006/FP-001 – Survie (adaptation par les Forces canadiennes du document US Field Manual 21-76), 655 p.
- EFLORAS, 2008. Disponible en ligne à : <http://www.efloras.org>, Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO et Harvard University Herbaria, Cambridge, MA. [Visité le 2015-12-04].
- [ENVIRONEX], LABORATOIRES D'ANALYSES ENVIRONEX INC., 2016. Sherbrooke, Tests effectués le 8 mars 2016.
- FLEURBEC, sous la direction de LAMOUREUX, G., L. DURAND et F. MORISSETTE, 1981. *Plantes sauvages comestibles. Guide d'identification Fleurbec*, Saint-Henri-de-Lévis, Québec, 168 p.
- FRY, A., 1981. *Survival in the wilderness—A practical, all-season guide to traditional techniques for hikers, skiers, backpackers, canoeists, travelers in light aircraft, and anyone stranded in the bush*. Macmillan of Canada, Toronto, 284 p.
- GALATOWITSCH, S.M., N.O. ANDERSON et P.D. ASCHER, 1999. Invasiveness in wetland plants in temperate North America. *Wetlands*, 19 : 733-755.
- GIRARD, F., 2008. *Secrets de plantes. Guide pratique*, Éditions JCL, Chicoutimi, 204 p.
- GIRARD, F., 2013. *Secrets de plantes 2. Guide pratique*, Éditions JCL, Chicoutimi, 216 p.
- GREGG, S., 1988. Foragers and farmers: Population interaction and agricultural expansion in prehistoric Europe. The University of Chicago Press, Chicago, 275 p.
- GREGORY, L.E., 1965. Physiology of tuberization in plants. *Encyclopedia of Plant Physiology*, 15 : 1328-1354.

- HENDERSON, V., 1966. The nature of nursing. Mac Millan Company, New York, 84 p.
- HOULAHAN, J.E. et C.S. FINDLAY, 2004. Effect of invasive plant species on temperate wetland plant diversity. *Conservation Biology*, 18 : 1132-1138.
- KPMG SERVICES CONSEILS, 2010. Diagnostic – Tourisme nature, Québec, 39 p.
- KUHNLEIN, H.V. et N.J. TURNER, 1991. Traditional plant foods of Canadian indigenous peoples: nutrition, botany, and use. *Food and Nutrition in History and Anthropology* (Vol. 8), Gordon and Breach Science Publishers, Philadelphia, 633 p.
- MARTEL, J.-M. et A. ROUSSEAU, 1993. Cadre de référence d'une démarche multicritère de gestion intégrée des ressources en milieu forestier. Rapport préparé pour le Gouvernement du Québec, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, ministère des Forêts et ministère de l'Environnement, gestion intégrée des ressources, document technique 93/11, 49 p.
- MAZZA, G., 2005. Compositional and functional properties of Saskatoon berry and blueberry. *International Journal of Fruit Science*, 5 (3) : 101-120.
- [MDN ELF] MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE, 2009. Programme Énergiser les Forces (ELF). Disponible en ligne à : <http://www.cg.cfpsa.ca/cg-pc/Kingston/EN/StrengtheningtheForcesHealthPromotion/Campaigns/Documents/ecbtcdfra.pdf>. [Visité le 2016-01-22].
- MEPHAM, D., 2013. Intervenir en région isolée. Conférence dans le cadre du colloque FORS, 23 et 24 mars 2013, Sainte-Anne-des-Monts, LERPA/MSP
- MERRILL, A.L. et B.K WATT, 1955. Energy value of foods, basis and derivation. *Agriculture Handbook n° 74*. Washington, DC, Unites States Department of Agriculture, 105 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 2014. Guide d'inventaire et d'échantillonnage en milieu forestier (sous la direction de S. Méthot). Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, Québec, avril 2014, 251 p.
- OLSEN, L.D., 1997. *Outdoor survival skills - sixth edition*. Chicago Review Press, Chicago, 254 p.
- [PFAF] PLANTS FOR A FUTURE, 2015. Disponible en ligne à : <http://www.pfaf.org/user/Default.aspx>. [Visité le 2016-01-22].
- REVEDIN, A., A. BIANCAMARIA, R. BECATTINI, L. LONGO, E. MARCONI, M. MARIOTTI LIPPI, N. SKAKUN, A. SINITSYN, E. SPIRIDONOVA et J. SVOBODAH, 2010. Thirty thousand-year-old evidence of plant food processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107 (44) : 18815-18819.
- ROY, B., 1985. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Série : Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion. *Economica*, Paris, 423 p.
- ROY B., 1987. Des critères multiples en recherche opérationnelle : pourquoi ? *Cahier du LAMSADE*, Université Paris-Dauphine, 80 : 1-20
- SANTÉ CANADA, 2008. Valeur nutritive de quelques aliments usuels. Publications Santé Canada, Ottawa, 66 p.
- SAUCIER, J.-P., P. GRONDIN, A. ROBITAILLE et J.F. BERGERON, 2003. Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, 2 p. Disponible en ligne à : <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/zone-f.pdf>.
- SCHÄRLIG, A., 1985. Décider sur plusieurs critères. *Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Série : Diriger l'entreprise, Université de Lausanne, Lausanne, 304 p.
- SELBO, S.M. et A.A. SNOW, 2004. The potential for hybridization between *Typha angustifolia* and *Typha latifolia* in a constructed wetland. *Aquatic Botany*, 78 : 361-369.
- TOURISME QUÉBEC, 2007. Le Québec Grande nature - Plan intégré de l'expérience : Diagnostic et orientations, Québec, 24 p.
- TRANQUARD, M., 2013. Le tourisme cynégétique et halieutique face au défi de la durabilité. *Téoros*, 32 (1) : 3-6.
- TRANQUARD, M. et A-F. BOURBEAU, 2014. Gestion des risques en tourisme d'aventure : proposition d'un outil d'évaluation du potentiel de survie en forêt. *Téoros*, 33 (1) : 99-108.
- [USDA] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2015. National Nutrient database. Disponible en ligne à : <http://ndb.nal.usda.gov>. [Visité le 2016-01-22].
- [USDA, NRCS] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, National Resources Conservation Service, 2018. The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>). National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA. [Visité le 2016-02-13].
- USUI, M., Y. KAKUDA et P.G. KEVAN, 1994. Composition and energy values of wild fruits from the boreal forest of northern Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*, 74 : 581-587.
- WALKER, M., 1984. Harvesting the northern wild: a guide to traditional and contemporary uses of edible forest plants of the Northwest Territories. *Outcrop Limited*, Yellowknife, N.W.T., 224 p.
- WILLIAMS, H., 2015. Effects of Environment on *Rubus Idaeus* L. III. Growth and dormancy of young shoots, *Journal of Horticultural Science*, 34(4): 210-218, DOI:10.1080/00221589.1959.11513961.

Regard nouveau sur la biologie du polypore ponctué: *Fomitiporia punctata* (P. Karsten) Murrill

Bruno Boulet et Guy Bussières

Résumé

Le champignon *Fomitiporia punctata* est d'abord un saprophyte des chicots et du bois gisant. L'inventaire réalisé dans 2 sites au Québec montre qu'il est parfois un agent pathogène responsable d'un chancre sur le chêne rouge (*Quercus rubra* L.) et le frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.). La nécrose du cambium débute autour d'un nœud pourri sur le tronc. Les chênes à Beauceville sont infectés à 52,6 % comparativement à 11,6 % pour les frênes à Duberger. L'incidence de la maladie est accrue chez les chênes et les frênes codominants. La hauteur médiane des chancres ne diffère pas selon l'essence. La longueur moyenne des chancres ne peut à elle seule expliquer l'étendue de la carie. Toutefois, les chancres dont la largeur touche moins de 50 % de la circonférence du tronc ont 75 cm ou moins de longueur et sont exempts de pourriture profonde. Il n'existe pas de relation claire entre les dimensions d'un chancre et le diamètre des arbres. Les chancres fusiformes de 0,35 m² à 0,61 m² révèlent une carie avancée du cœur et de l'aubier résultant d'un laps de temps très long écoulé depuis le début de l'infection. L'impact de la maladie est à craindre surtout dans les frênaies riveraines, menacées par l'agrile du frêne.

MOTS CLÉS: carie de cœur, chancre, parasite de faiblesse, saprophyte, triangle des maladies

Abstract

The fungus *Fomitiporia punctata* is primarily a saprophyte of snags and large pieces of deadfall. However, surveys conducted in 2 sites in Quebec (Canada) showed that it also causes a canker rot on living red oak (*Quercus rubra* L.) and red ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.), with necrosis of the cambium beginning around a rotten knot on the trunk. In total, 52.6% of red oaks at the Beauceville site were infected, and 11.6% of red ashes at the Duberger site, with the incidence of the disease being higher on codominant trees. The median height of cankers did not differ between species, and the average length of the canker was not an indication of the extent of the decay. However, trees with canker less than 75 cm in length and that covered less than 50% of the circumference of the trunk were free of heart rot. There was no relationship between canker size and tree diameter. Large fusiform cankers covering between 0.35 m² to 0.61 m² were the result of longstanding infections, and indicative of advanced heart rot and sapwood decay. The potential impact of the disease is especially of concern in riparian ash trees, threatened by emerald ash borer.

KEY WORDS: canker-rot, disease triangle, facultative parasite, heart rot, true saprophyte

Introduction

Le triangle des maladies des arbres (TMA) est un concept aussi vieux que le champ de la pathologie forestière moderne. Ce concept postule que la maladie résulte de l'effet combiné de trois facteurs: 1) un agent pathogène, 2) un hôte et 3) l'environnement dans lequel ils évoluent (Stevens, 1960). De nos jours, il est toujours aussi pertinent d'étudier non seulement comment les 3 facteurs du TMA influencent directement la maladie, mais dorénavant, il faut aussi se préoccuper de la façon dont ils agissent dans un contexte de changement attribuable aux perturbations des forêts à l'échelle du paysage ou encore, au réchauffement du climat (Francl, 2001; Garbelotto et Gonthier, 2017). Par exemple, le volume de bois perdu à cause de la carie dépend de l'interaction de plusieurs paramètres: 1) la virulence du champignon et son incidence, 2) l'âge et la vigueur des arbres et enfin, 3) les caractéristiques du site, comme la fertilité du sol, le drainage, la topographie, etc. (Boulet, 2003).

La vigueur de l'hôte et son environnement peuvent modifier la virulence d'un champignon comme *Fomitiporia punctata*, qui se comporte tantôt comme un saprophyte, tantôt comme un agent pathogène causant des chancres sur les arbres vivants.

Les polypores sont pour la plupart (60 % des espèces) des spécialistes de la décomposition du bois mort (Gilbertson, 1981). *F. punctata* est un agent de carie blanche spongieuse du bois (Lowe, 1966) qui décompose les chicots, laissant la place à d'autres champignons qui peu à peu prennent le relais dans le bois gisant (Boulet, 2003). Les chicots constituent le substrat par excellence pour la propagation du champignon; la poussée de basidiomes aux traits caractéristiques permet une identification fiable sur le terrain. Le basidiome pérenne forme une croûte épaisse, marquée de bourrelets fissurés, bruns, grisâtres et noirâtres contrastant avec la surface ocrée des pores (figure 1). Précisons que le basidiome est l'appareil reproducteur produisant les spores sexuées chez les basidiomycètes, comme les polypores.

Bruno Boulet, M. Sc., est ingénieur forestier, entomologiste et pathologiste forestier, spécialiste du domaine de la santé des forêts.

bruno.boulet@yahoo.ca

Guy Bussières, M. Sc., est ingénieur forestier et pathologiste forestier à l'Université Laval.

Guy.Bussieres@sbf.ulaval.ca



Figure 1. Basidiome pérenne de *Fomitiporia punctata* sur un chicot d'érable rouge (photo : B. Boulet).

Le polypore ponctué (*Fomitiporia punctata*) est largement répandu sur les feuillus indigènes de la zone tempérée de la forêt de feuillus nordiques et de la forêt mixte de la zone boréale (Boulet, 2003; Decock et collab., 2007). Il pousse aussi sur plusieurs espèces d'arbres exotiques plantés dans les villes et les parcs (Walla, 1984), jouant un rôle d'élagueur naturel des branches mortes sur le tronc (Boddy et Rayner, 1983; Boulet, 2003).

D'autres polypores rongent l'intérieur du tronc des arbres vivants tel un parasite. Or, il existe seulement quelques espèces de polypores (11) causant à la fois la carie du cœur et des chancre sur le tronc des arbres (Boulet, 2003). Nous faisons la démonstration dans cet article que *Fomitiporia punctata* fait partie de ce groupe de champignons pathogènes, et qu'il est virulent sur le frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) et le chêne rouge (*Quercus rubra* L.). Les hyphes de ce champignon dégradent chimiquement l'aubier et le cœur, franchissant sans difficulté les murs internes de protection que les feuillus vivants dressent à l'intérieur du bois pour compartimenter la carie (Schwarze et collab., 2000). Dans le jargon des pathologistes forestiers, ce champignon cause une carie « chancreuse » du tronc.

Dans les États du Midwest américain (Dakota du Nord, Nebraska, Oklahoma, Colorado), *Fomitiporia punctata* est associé à une carie chancreuse des feuillus et son incidence est la plus grande sur le frêne rouge (Riffle et Conway, 1986; Walla, 1984). À notre connaissance, ce type de carie est rapporté ici pour la première fois dans l'est de l'Amérique du Nord sur le frêne rouge et le chêne rouge.

L'incidence de la maladie est habituellement grande sur les arbres en état de stress et ceux mal adaptés aux conditions de la station (Walker et Watterson, 1972). Les arbres porteurs d'un ou de plusieurs chancres menacent non seulement de se briser, mais aussi d'infecter les arbres sains à proximité (Berry, 1985). Or, les effets d'une épidémie de l'agrile du frêne (*Agrilus planipennis* Fairmaire) sur la santé des arbres pourraient bien changer le rapport de force des facteurs du TMA et modifier le comportement de la maladie et ses effets dans les frênaies rouges occupant les berges du fleuve Saint-Laurent et de ses affluents. Cet insecte exotique de l'ordre des coléoptères est en effet très envahissant et cause des ravages sans précédent sur les frênes.

Le bois mort de frêne constitue une source importante d'infection. Avec la poussée de nombreux basidiomes, les spores infectieuses pourraient propager la maladie aux arbres vivants. Dans cette perspective, la biologie de *Fomitiporia punctata* mérite d'être mieux documentée par une analyse détaillée qui consiste à décrire son comportement comme agent pathogène apte à causer des chancres sur les arbres vivants (Gilbertson et Ryvarden, 1987; Walla, 1984).

Le but principal de cet article est de décrire la morphologie différentielle des chancres sur le frêne rouge et le chêne rouge, d'estimer l'incidence de la maladie dans chacun des deux habitats étudiés et enfin, de faire le point sur les perturbations que *F. punctata* pourrait causer dans les forêts de feuillus nordiques de l'est de l'Amérique du Nord.

Matériel et méthodes

Emplacement des points d'observation

Parc de Duberger à Québec

Le parc de Duberger couvre une superficie 21,9 ha dont les deux tiers sont occupés par le boisé et la rivière du Berger sillonnant en méandres le parc du nord au sud sur toute sa longueur. Le parc s'étire sur 0,8 km le long de l'autoroute Robert-Bourassa. Il est bordé à l'ouest par le boulevard Central, à l'intersection du boulevard Père-Lelièvre au sud (figure 2). Le parc est situé dans le district de Vanier-Duberger, arrondissement des Rivières de la ville de Québec: 46° 50' 14" N., 71° 18' 43" O. Le frêne rouge, l'orme d'Amérique (*Ulmus americana* L.), le peuplier baumier (*Populus balsamifera* L.), le noyer cendré (*Juglans cinerea* L.), le saule blanc (*Salix alba* L.), le saule fragile (*Salix fragilis* L.) et le saule hybride (*S. alba* × *S. fragilis*) occupent les terrasses argileuses bordant la rivière; les noyers de tous âges sont d'ailleurs infectés, pour la plupart, par la maladie du noyer cendré causée par le champignon *Ophiognomia clavignientijuglandacearum* Nair, Kost et Kuntz (Brod. et Bol.).

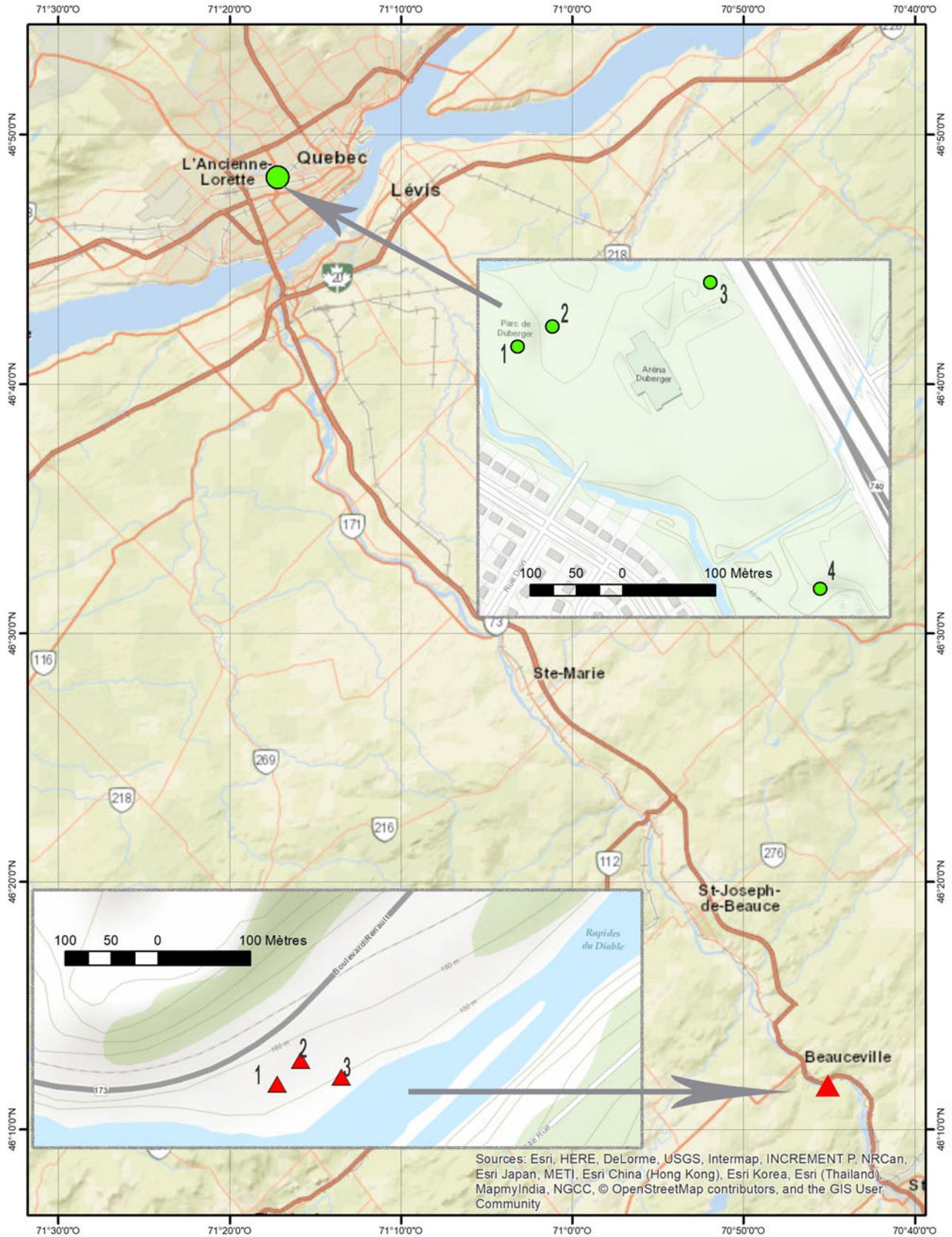


Figure 2. Carte de l'emplacement des points d'observation dans les sites d'étude du parc de Duberger à Québec et du parc des Rapides-du-Diable à Beauceville.

Quatre points d'observation à rayon variable ont été établis à l'aide d'un prisme (facteur 2) dans la frêne rouge. Les frênes occupent à maints endroits de petits secteurs sur les terrasses et les rives de la rivière du Berger où poussent quelques ormes ayant survécu aux ravages de la maladie hollandaise causée par le champignon *Ophiostoma novoulmi* Brasier. La densité et la composition du boisé varient beaucoup; les trouées créées après la coupe partielle faite pour enlever les ormes malades sont fréquentes. Les grands saules et les peupliers occupent surtout les rives basses inondables, à drainage imparfait. Les frênes y sont moins nombreux, et la densité du couvert forestier est plus faible que dans la zone surélevée, à drainage mésique.

Parc des Rapides-du-Diable à Beauceville

Le parc des Rapides-du-Diable est situé entre le boulevard Renault (route 173) et la rive nord de la rivière Chaudière, dans le territoire de la ville de Beauceville (figure 2), dans la municipalité régionale de comté Robert-Cliche: 46° 11' 53" N., 70° 45' 8" O. Le boisé s'étire sur environ 1,5 km sur un site en pente exposé au sud. Le sol est bien drainé, sec, mince et pierreux. Le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Miller), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michaux), le cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrhart) et le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) poussent à l'est du parc. À l'ouest, le chêne rouge forme un petit peuplement avec le frêne blanc (*Fraxinus americana* L.) et l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.). La régénération de frênes et d'érables domine. Trois points d'observation ont été établis dans la chênaie rouge à érable à sucre, un groupement d'essences occupant environ 0,75 ha dans le parc. Le chêne rouge est d'ailleurs relativement rare dans la région.

Informations forestières

Les arbres de chaque point d'observation ont été dénombrés et examinés sur toute la longueur du tronc afin de mesurer l'incidence de la maladie dans le peuplement. Le diamètre des arbres à hauteur de poitrine (dhp), c'est-à-dire à 1,3 m au-dessus de la plus haute racine, a été mesuré à l'aide d'un ruban forestier. L'étage dans le couvert forestier a été noté pour les arbres affichant un ou plusieurs chancres sur tronc. Tous les chancres observés ont été diagnostiqués et notés pour toutes les essences, même ceux situés sur les arbres en dehors des points d'observation. Les limites maximale et minimale de la hauteur de chaque chancre (H_{\max} et H_{\min}) ont été mesurées à l'aide d'une perche extensible graduée en centimètres. Le nombre de faces touchées sur le tronc (de 1 à 4 faces couvrant chacune 25 % de la circonférence) a servi à estimer visuellement la largeur maximale des chancres. La largeur maximale (l_{\max}) des chancres, sans le cal, a aussi été mesurée directement pour ceux dont la hauteur médiane était inférieure à 2,5 m. Nous avons aussi noté la présence ou l'absence d'un nœud au centre de la zone nécrosée, du décollement de l'écorce ainsi que de basidiome(s), jeune(s) ou vieux, poussant sur le bois pourri ou l'écorce. Un couteau a servi à vérifier la présence de carie profonde (5 cm ou plus) au centre du chancre. Les jumelles

d'approche ont servi à vérifier la présence de basidiomes de *F. punctata* et de pourriture visible à plus de 2,5 m de hauteur. Tous les arbres malades ont été photographiés et géoréférencés à des fins de vérification et d'analyse ultérieure des données.

Une reconnaissance visuelle dans un rayon de 20 m en dehors des points d'observation s'est avérée nécessaire pour repérer, diagnostiquer et mesurer tous chancres présents sur les arbres et inclus dans les analyses.

Informations d'ordre pathologique

Microscopie

Les spécimens de champignons prélevés sur les frênes et les chênes vivants affichaient peu de caractères visuels permettant une identification sûre. C'est pourquoi l'étude au microscope des spécimens s'est avérée nécessaire. Les fragments de champignon prélevés dans la chair et les tubes ont été déposés sur plusieurs lames dans le colorant bleu coton lactique (bleu coton) et le réactif de Melzer, une solution à base d'hydrate de chloral ($Cl_3CCH(OH)_2$) et d'iode indispensable pour examiner les spores. Une solution à 4 % d'hydroxyde de potassium (KOH) a aussi servi à vérifier la présence ou l'absence de soies dans la trame des tubes et l'hyménium. Précisons que l'hyménium est la couche fertile de cellules tapissant l'intérieur des tubes juxtaposés les uns aux autres pour former l'hyménophore poré à la surface du basidiome (figure 1).

Les *exsiccata* des champignons récoltés aux stations du parc des Rapides-du-Diable à Beauceville et ceux du parc de Duberger à Québec ont été déposés dans la mycothèque René Pomerleau du Centre de foresterie des Laurentides (CFL-RNCAN) et portent les numéros de référence suivants: QFB-30581 et QFB-30582.

Isolement et culture du champignon

Du matériel fongique frais a été obtenu de basidiomes vivants de *F. punctata* prélevés sur 3 chênes à Beauceville et sur 3 frênes à Duberger. Les échantillons ont été enveloppés dans des papillotes en papier ciré et conservés au froid pour le transport, afin d'avoir suffisamment de matériel frais en laboratoire pour obtenir au moins un isolat du champignon par essence. Des fragments de tissu frais situé sous la couche de tubes formant l'hyménophore ont été recueillis avec un scalpel et déposés dans des boîtes de Petri de 9 cm de diamètre contenant une gélose à 1,5 % d'extrait de malt (MEA, Difco). L'opération a été effectuée en milieu aseptique.

Les boîtes de Petri ont été placées dans l'obscurité, à 24 °C, pour une incubation de 3 à 7 jours. Par la suite, les colonies du champignon ont été purifiées en prélevant de petits fragments de mycélium à l'apex des hyphes pour être transférés sur un milieu de culture stérile (MEA, 1,5 %) afin d'obtenir un isolat pur.

Le test de croissance des isolats a aussi été réalisé sur une gélose contenant 1,5 % d'extrait de malt (MEA, Difco). Les boîtes de Petri ont été placées dans l'obscurité, à 25 °C, pour une incubation de 21 jours selon un dispositif complètement aléatoire avec 5 répétitions de chaque isolat.

Analyse moléculaire

L'identification des 2 isolats purifiés de champignon en provenance du chêne et du frêne a été effectuée au moyen de l'analyse de l'ADN amplifié selon une adaptation de la méthode de Gagné et collab. (2006).

Pour chaque isolat, environ 50 mg de mycélium ont été prélevés et déposés séparément dans un tube de 1,5 ml immergé dans l'azote liquide; le champignon a été broyé à l'aide d'un pilon.

La trousse *DNeasy plant mini kit* (Quiagen, Mississauga, Ontario) a servi à extraire l'ADN génomique total. La région ITS (*Internal Transcribed Spacer*) de l'ADN ribosomique (rDNA) a été amplifiée en utilisant les amorces ITS-1F (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3') (Gardes et Bruns, 1993, cité dans Gagné et collab., 2006) et ITS-4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White et collab., 1990, cité dans Gagné et collab., 2006).

Le thermocycleur PTC-225 (MJ Research, Waltham, Massachusetts) a été utilisé pour l'amplification PCR (réaction en chaîne par polymérase). Les paramètres du cycle étaient les suivants: dénaturation initiale à 95°C pendant 2,5 min, 30 cycles de dénaturation de 30 s à 95°C, une extension d'ADN de 3 min à 72°C, et une extension finale de 10 min à 72°C. Chaque réaction PCR a été soumise à une électrophorèse dans un gel contenant 1 % d'agarose et coloré avec du bromure d'éthidium.

La méthode *Sanger* a été utilisée pour le séquençage en utilisant l'amorce «*forward*» ITS-1F et la procédure standard de terminaison de chaîne dideoxynucléotidique. Le séquençage a été réalisé sur la Plate-Forme d'Analyse Génomique de l'Université Laval.

Les séquences nucléotidiques étudiées ont été éditées à l'aide de l'application BioEdit (Hall, 1999). Le programme d'alignement de séquences BLASTn (Altschul et collab., 1990; 1997) a permis de comparer les séquences obtenues avec les séquences de *Fomitiporia punctata* déposées dans la base de données *GenBank*® (NCBI, 1998).

Résultats et discussion

Champignon responsable des chancres

Microscopie

Les polypores frais récoltés ont nécessité un examen approfondi, car l'hyménium tapissant l'intérieur des tubes renfermait peu de spores. Plusieurs tentatives ont permis finalement d'apercevoir quelques spores rondes confinées dans

le fond des tubes près de la chair. Les spores sont fortement dextrinoïdes (brun rougeâtre dans le Melzer) et cyanophiles (bleu brillant dans le bleu coton); ces caractères sont propres au genre *Fomitiporia* (David et collab., 1982; Decock et collab., 2007). Les nombreux montages de lames dans le KOH ont aussi révélé qu'il n'y avait pas de soies brun noirâtre ni dans la trame des tubes ni dans l'hyménium. L'absence de soies est un caractère spécifique de *F. punctata* (Gilbertson et Ryvarden, 1987).

Culture du mycélium

Les traits caractéristiques du champignon en culture correspondent à ceux de *F. punctata* (= *Poria punctata*) décrits par Nobles (1948) et Stalpers (1978): un mycélium aérien et dense ainsi que des colonies d'abord blanches virant au jaune crème ou au jaune ocre, puis au brun jaunâtre, tirant parfois sur le brun ocre pâle.

Le diamètre moyen et l'écart type des colonies de *F. punctata* après 14 jours de croissance concordent aussi avec les mesures de Stalpers (1978), soit $27,4 \pm 0,9$ mm (isolat UL17003, parc de Duberger) et $24,4 \pm 0,5$ mm (isolat UL17005, parc des Rapides-du-Diable).

Les isolats purifiés UL17003 et UL17005 sont actuellement entreposés, à 4°C, dans des tubes contenant une gélose composée à 2 % d'extrait de malt (Difco). Ils sont conservés dans la collection de champignons du laboratoire de pathologie forestière de l'Université Laval, à Québec.

Analyse moléculaire des isolats

Les séquences nucléotidiques étudiées présentent une forte similarité avec celles déposées dans la base de données publique. L'homologie des séquences de *F. punctata* déposées dans *GenBank*® varie de 96 % à 98 % pour le basidiome du parc de Duberger à Québec (UL17003) et de 97 % à 99 % pour celui du parc des Rapides-du-Diable à Beauceville (UL17005). Les résultats présentés au tableau 1 confirment l'identification des basidiomes du champignon *Fomitiporia punctata* récoltés sur le chêne rouge à la station de Beauceville et sur le frêne rouge à la station de Québec.

Le numéro d'accès de la séquence enregistrée dans *GenBank*® pour le spécimen du parc de Duberger (MH193375.1) correspond à *Fomitiporia punctata* voucher QFB-30582; celui pour le spécimen du parc des Rapides-du-Diable (MH129070.1) est associé à *Fomitiporia punctata* voucher QFB-30581.

Tableau 1 - Homologie des séquences nucléotidiques avec celles de *F. punctata* dans *GenBank*®.

Séquences <i>GenBank</i> ®	Homologie des séquences de <i>F. punctata</i>	
	Parc des Rapides-du-Diable à Beauceville (QFB-30581)	Parc de Duberger à Québec (QFB-30582)
AY340032.1	97 %	98 %
GU461950.1	98 %	96 %
JQ673202.1	99 %	97 %

Incidence de la maladie à l'échelle du peuplement

La densité relative des chênes et des frênes varie beaucoup entre les points d'observation. La surface terrière moyenne est environ 1,5 fois plus grande dans la frênaie ($G = 37,5 \pm 13 \text{ m}^2/\text{ha}$) que dans la chênaie ($G = 25,3 \pm 7 \text{ m}^2/\text{ha}$) (figure 3).

À la station du parc de Duberger, la surface terrière est la plus grande ($G =$ de 44 à 52 m^2/ha) sur la terrasse surélevée en retrait des rives (figure 2, points 1, 3 et 4), en raison des nombreux frênes matures poussant en bouquet. Elle est la plus faible ($G = 23 \text{ m}^2/\text{ha}$) dans la zone riveraine inondable.

À la station du parc des Rapides-du-Diable, les chênes rouges sont relativement peu nombreux dans l'ensemble; l'emplacement des points d'observation est confiné dans la partie ouest près de la rive nord de la rivière Chaudière (figure 2).

La proportion de la surface terrière d'arbres avec chancre(s) sur la surface terrière totale d'arbres de la même essence se chiffre respectivement à 20/38 chênes à Beauceville et à 16/138 frênes à Québec (figure 4). L'incidence des chancres sur le chêne rouge dans les points d'observation au parc des Rapides-du-Diable (52,6 %) est plus forte que celle mesurée sur le frêne rouge dans ceux du parc de Duberger (11,6 %). Soulignons que les frênes blancs de tous âges à Beauceville n'affichaient aucun symptôme d'infection de *F. punctata*, bien qu'ils étaient relativement nombreux dans un rayon de 20 m autour des points d'observation. Il est cependant difficile d'affirmer qu'ils sont résistants à la maladie, puisque le frêne blanc est absent du parc de Duberger à Québec. Précisons par ailleurs que les nécroses observées sur l'érable à sucre étaient toutes attribuables à la maladie du chancre eutypelléen de l'érable causée par *Eutypella parasitica* Davidson et Lorenz.

À titre comparatif, un inventaire réalisé de 1979 à 1981, au Dakota du Nord a révélé que *F. punctata* était présent dans 36 % des sites visités et que la proportion des frênes rouges infectés variait de 9 % à 56 %, suivant un gradient d'ouest en est (Walla, 1984).

Impact des chancres sur les arbres

En plus des 18 arbres malades recensés dans les points d'observation, 20 autres sujets situés en dehors (dans un rayon de 20 m à partir du centre) ont été repérés dans les stations de Québec (14) et de Beauceville (6) et ont servi à mesurer les effets de la maladie sur la santé des arbres. Au total, 38 arbres sont atteints de 55 chancres. Le diamètre moyen des arbres malades de l'étage intermédiaire, codominant et dominant est de $25,3 \pm 2,6 \text{ cm}$, $31,5 \pm 4,1 \text{ cm}$ et $43,0 \pm 7,8 \text{ cm}$, respectivement (figure 5).

La plupart (79 %) des arbres malades ne portent qu'un seul chancre sur le tronc. Les arbres codominants (soit 65,8 % des 38 arbres examinés) sont plus enclins que les autres à développer la maladie (figure 6). Quelques frênes codominants ont deux chancres (2) et un seul frêne est porteur de chancres multiples. Cinq chênes sur 16 (31,3 %) affichent deux chancres sur le tronc.

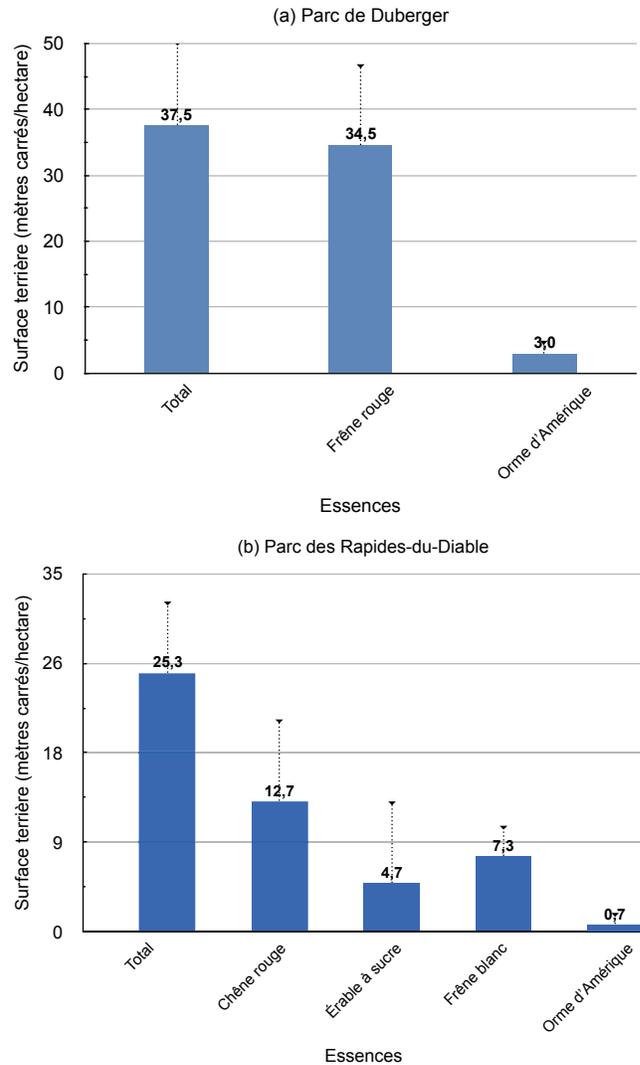


Figure 3. Surface terrière par essence (± écart type) dans la station du parc de Duberger (a) et du parc de la Rivière-du-Diable (b).

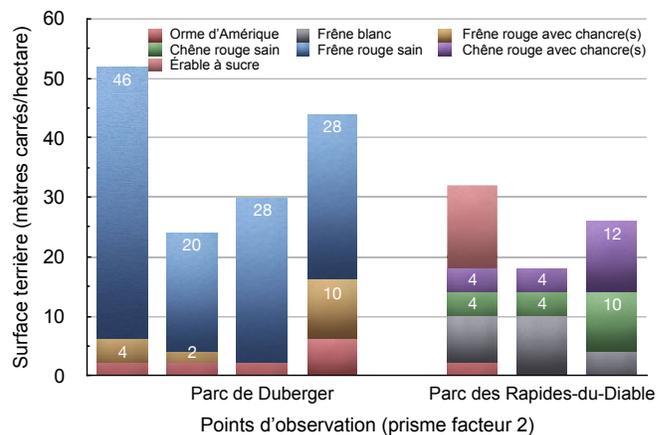


Figure 4. Surface terrière par essence et incidence des chancres (chiffres) sur le chêne rouge et le frêne rouge dans chacun des points d'observation.

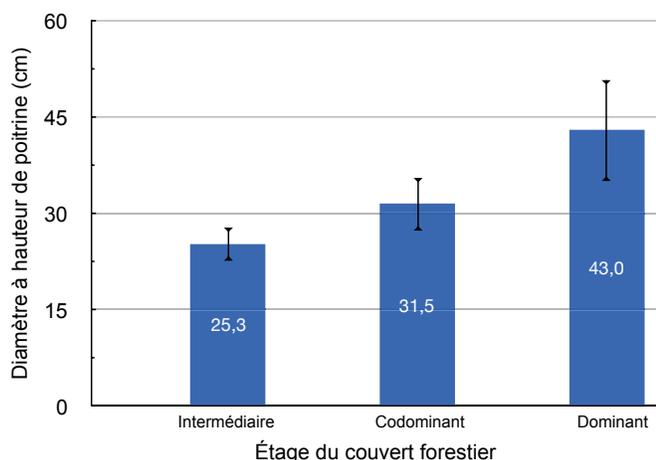


Figure 5. Diamètre à hauteur de poitrine (moyenne ± écart type) des arbres infectés de chancre(s) selon l'étage du couvert forestier.

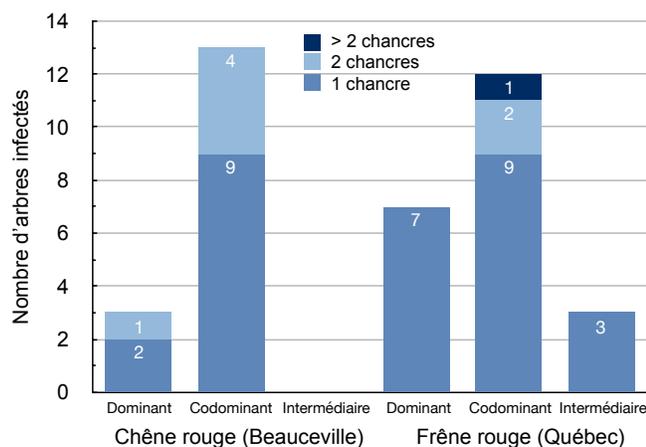


Figure 6. Nombre de chancre(s) par arbre infecté, selon l'essence et l'étage du couvert.

Nos observations sur le terrain montrent que la promiscuité des frênes codominants poussant souvent en bouquet au parc de Duberger fait en sorte qu'ils sont plus sensibles aux infections que les autres. En effet, ces frênes développent souvent des fourches basses à l'origine de chicots insérés à angle aigu qui persistent sur le tronc et qui ont du mal à cicatriser. En tombant, ces chicots de branches laissent des nœuds ouverts ou des cavités propices aux infections. Quelques frênes peu vigoureux portent des cancrs multiples fusionnés avec le temps pour former une longue cicatrice sur le tronc. C'est aussi le cas pour certains cancrs de grande taille mesurés à Beauceville, sur les chênes rouges codominants.

Stades de dégradation des arbres malades

Les cancrs de *F. punctata* évoluent avec le temps. Leur morphologie au cours des différentes phases d'infection de la maladie présente des traits caractéristiques chez les deux essences : le chêne rouge et le frêne rouge.

Les infections sont issues d'un nœud de branche pourri à l'origine d'une nécrose du cambium causant un chancre de forme allongée, touchant une, deux ou trois faces du tronc. Ces observations corroborent celles de Walla (1984) sur le frêne rouge. Les caractères différentiels des cancrs présentés au tableau 2 définissent 5 stades de dégradation de leurs hôtes. Les planches couleur 1 et 2 retracent en images les phases d'infection de la maladie sur le frêne rouge et le chêne rouge selon les stades de dégradation décrits au tableau 2.

L'évolution des cancrs avec le temps écoulé depuis le début de l'infection présente de nombreuses similarités chez ces 2 essences. Le stade 1 de la maladie est relativement discret. La nécrose du cambium s'amorce autour d'un vieux nœud, créant un affaissement localisé de l'écorce couvrant moins d'une face de largeur sur le tronc. Les basidiomes de *F. punctata* apparaissent par la suite sur l'écorce (stade 2) lorsque le champignon est bien installé dans un nœud pourri. La largeur de la nécrose est tributaire de la grosseur

Tableau 2 - Description des cancrs et stades de dégradation des arbres.

Stade	Face(s) nécrosée(s) du tronc	Écorce morte (Absence/Présence)	Basidiome(s) (Absence/Présence)	Carie profonde (plus de 5 cm)
1	1	P	A	NON
2	1	(A)/P ^b	P	NON
3	2, (3) ^a	(A)/P ^b	(A)/P ^b	NON
4	2, (3) ^a	A/(P) ^c	A/(P) ^c	OUI
5	3	A/(P) ^c	A/(P) ^c	OUI

(a) deux faces touchées par le chancre, rarement trois
 (b) généralement présent(e), parfois absent(e) dans le chancre
 (c) généralement absent(e), parfois présent(e) dans le chancre

du nœud, du diamètre de l'arbre et probablement du temps écoulé depuis l'infection (stades 2 et 3). Avec le temps, l'écorce morte se détache par endroits, dévoilant la carie blanche qui dégrade d'abord les premiers 5 cm de l'aubier (stade 3). Par la suite, le champignon pénètre le bois en profondeur (5 cm ou plus) et finalement, le chancre prend la forme d'un fuseau allongé (stade 4). Les vieux chancres couvrant 2 faces ou plus de largeur sont pourris jusqu'au cœur (stade 5).

Hauteur des chancres

La hauteur médiane (H_m) d'un chancre correspond au nœud à l'origine de l'infection qui est situé au centre de la nécrose. Nos observations sur le terrain ont confirmé que la carie s'étend dans le tronc au même rythme de part et d'autre du nœud pourri, de sorte que

$$H_m = H_{\min} + (H_{\max} - H_{\min})/2$$

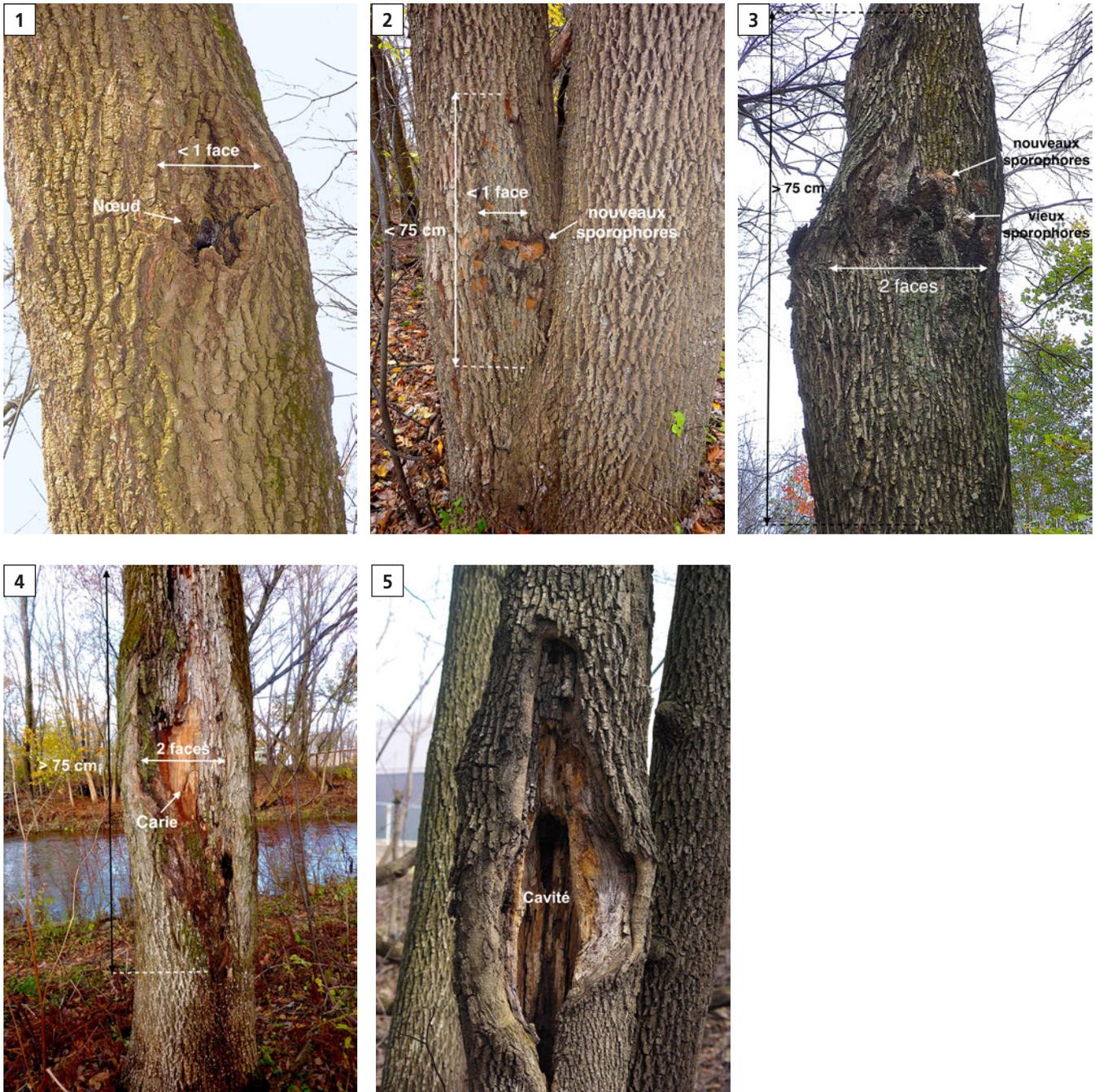


Planche 1. Phases d'infection du chancre de *Fomitiporia punctata* sur le frêne rouge: phase 1: nœud pourri et nécrose touchant une face ou moins; phase 2: nœud pourri et nécrose touchant une face ou moins, avec basidiome(s); phase 3: nécrose touchant deux faces avec basidiome(s); phase 4: nécrose touchant deux faces avec basidiome(s) et carie du cœur; phase 5: cavité ou nécrose touchant trois faces avec ou sans basidiome(s) et carie du cœur (photos B. Boulet).

La hauteur médiane des chancres est très variable d'un arbre à l'autre et ne diffère pas selon l'essence. Les jeunes chancres comme les vieux se situent à une hauteur variant de 1 m à 5,2 m chez le chêne rouge et de 1,2 m à 4 m chez le frêne rouge (figure 7). Ceux affichant des symptômes de pourriture profonde (stades 4 et 5) sont forcément les plus vieux, mais la hauteur médiane n'est pas différente

des nécroses de stade 1 apparues ultérieurement, de toute évidence. Ces résultats suggèrent que d'hier à aujourd'hui, les infections découlent du mauvais élagage naturel de branches qui s'est réalisé tardivement sur les premiers 5 m du tronc. Le risque d'infection semble être le même, peu importe la hauteur du nœud.



Planche 2. Phases d'infection du chancre de *Fomitiporia punctata* sur le chêne rouge: phase 1: nœud pourri et nécrose touchant une face ou moins; phase 2: nœud pourri et nécrose touchant une face ou moins, avec basidiome(s); phase 3: nécrose touchant deux faces avec basidiome(s); phase 4: nécrose touchant deux faces avec basidiome(s) et carie du cœur; phase 5: cavité ou nécrose touchant trois faces avec ou sans basidiome(s) et carie du cœur (photos B. Boulet).

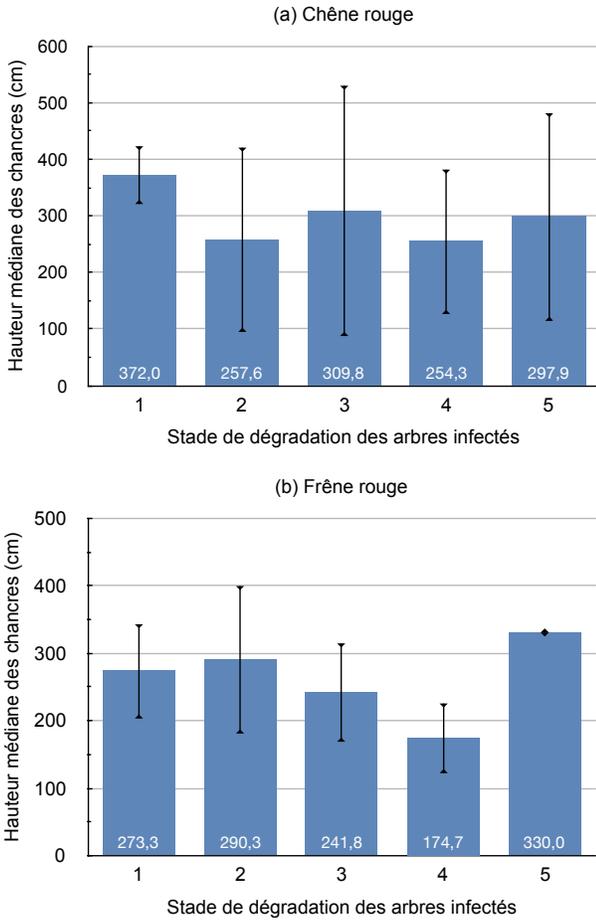


Figure 7. Hauteur médiane (\pm écart type) des chancres (a) sur le chêne rouge, (b) sur le frêne rouge.

Longueur des chancres

La longueur de chaque chancre a été calculée à partir des mesures de terrain de sorte que

$$L = H_{\max} - H_{\min}$$

Cette mesure est précise au centimètre près. La longueur des chancres a le potentiel d'indiquer l'étendue de la pourriture dans le tronc et par conséquent, de préciser le stade de dégradation interne des arbres malades. Les résultats obtenus sont variables et commandent la plus grande prudence. La longueur moyenne des chancres ne peut à elle seule expliquer l'étendue de la carie, compte tenu de la grande variabilité observée aux stades 3 et 4 (figure 8). L'écart type de la longueur de ceux de stades 3 et 4 est particulièrement grande, puisqu'il était parfois difficile de discriminer deux chancres sur la même face qui ont fusionné pour former une grande cicatrice sur le tronc. Néanmoins, les résultats tendent à montrer que les vieux chancres (stades 3, 4 et 5) ont en moyenne 75 cm ou plus de longueur. Un fait est clair cependant: la longueur des chancres dont la largeur est inférieure à 2 faces, sans symptôme de pourriture profonde (stades 1 et 2), est inférieure à 75 cm (figure 8).

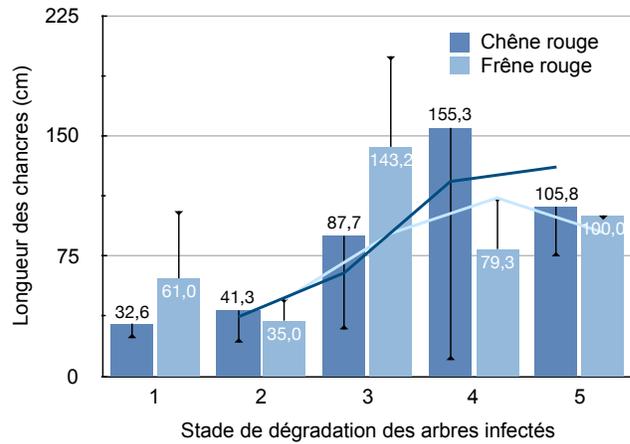


Figure 8. Longueur moyenne (\pm écart type) des chancres selon le stade de dégradation des arbres infectés. La ligne brisée relie les valeurs de la moyenne mobile utilisant à chaque calcul un sous-ensemble dans lequel un nouvel élément remplace le plus ancien.

Les lignes brisées à la figure 8 représentent les moyennes mobiles de la longueur des chancres pour illustrer leur évolution en fonction du stade de dégradation. Elles suggèrent que le rythme de progression de la maladie est à peu près le même chez les chênes et les frênes. De telles conclusions ne peuvent être corroborées sans une étude approfondie qui consisterait à débiter en sections les arbres malades afin de mesurer précisément le volume de bois avarié. Un tel projet n'est évidemment pas envisageable dans ces parcs municipaux à vocation récréative.

Étendue de la zone nécrosée

Surface des chancres selon l'essence et l'étage du couvert

Les chancres comportent une zone nécrosée et affaissée, entourée d'un bourrelet formé de bois vivant. Ils ont le même profil et se développent de façon similaire sur le chêne et le frêne (planches 1 et 2). La zone nécrosée (K_i) sur l'arbre « i » exclut les bourrelets irréguliers au pourtour. De forme elliptique, la zone nécrosée à la surface du tronc est décrite au moyen de la formule suivante:

$$K_i = \pi (L_i / 2) \times (l_{\max} / 2)$$

où L_i = longueur du chancre sur l'arbre « i » tel qu'établie au moyen de l'équation 2; $\pi = 3,141592$; l_{\max} = largeur maximale de la nécrose correspondant à la hauteur médiane sur le tronc (H_{mi}).

Pour les chancres hors de notre portée ($H_{mi} = 2,5$ m ou plus), l_{\max} n'a pu être mesuré avec précision. Pour estimer l_{\max} , il a fallu d'abord estimer le diamètre de l'arbre correspondant à la hauteur médiane du chancre (d_{Hmi}), en fonction du dhp et du coefficient de défilement du tronc, mesuré sur le terrain à 2 cm par mètre de longueur ($C_{\text{def}} = 0,02$) sur le tronçon au-dessus du dhp (130 cm). Le coefficient de défilement est le

même pour le chêne rouge et le frêne rouge. Le d_{Hmi} est calculé en centimètres au moyen de l'équation suivante :

$$d_{Hmi} = dhp - [C_{def} (H_{mi} - 130)]$$

Le coefficient de défilement des arbres est assez marqué sur le tronçon au-dessus du dhp en raison des conditions difficiles de croissance des chênes et des frênes. En effet, les proportions ramassées confèrent aux arbres un profil trapu.

Rappelons que les troncs sinueux et noueux des chênes rouges de Beauceville ont un fort défilement parce qu'ils poussent sur un sol sec et mince et que leur système racinaire est dépourvu d'un pivot central.

Il en va de même des frênes du parc de Duberger qui ont aussi un fort défilement parce que 1) leurs racines sont superficielles en raison du mauvais drainage, 2) les frênes codominants et intermédiaires poussent souvent en bouquet, c'est-à-dire que les tiges sont fusionnées à la base, sous le niveau de mesure du dhp. Les 2 frênes illustrés à la planche 1.2 sont un bel exemple d'arbres en bouquet.

La largeur maximale des chancres hors de notre portée (l_{max}) a été calculée au moyen des équations suivantes qui sont fonctions de la variable d_{Hmi} :

$$l_{max} = 0,2 (\pm 0,02) (\pi d_{Hmi})$$

$$l_{max} = 0,4 (\pm 0,05) (\pi d_{Hmi})$$

$$l_{max} = 0,6 (\pm 0,02) (\pi d_{Hmi})$$

L'équation [5] permet d'estimer la largeur (l_{max}) en centimètres d'un chancre hors portée touchant en moyenne 20 % de la circonférence (1 face = 0,25) sans le cal autour; les équations [6] et [7] se rapportent à ceux touchant en moyenne 40 % de la circonférence (1 face < l_{max} < 2 faces) et 60 % (l_{max} = 2 faces ou plus), respectivement. L'erreur relative imputable aux facteurs fixes ($\mu = 0,2 \pm 0,02$; $\mu = 0,4 \pm 0,05$; $\mu = 0,6 \pm 0,02$) a été déterminée à partir de mesures prises sur les photographies numériques de chaque chancre. Les valeurs calculées de l_{max} à partir des équations [5], [6] et [7] ont été intégrées à l'équation [3] pour le calcul de la surface K_i exprimée en m^2 . La figure 9 illustre la surface moyenne des chancres en fonction de l'étage du couvert occupé par les arbres malades.

Les longs chancres fusiformes s'étendent en moyenne sur $0,20 \pm 0,04 m^2$ et $0,33 \pm 0,22 m^2$ sur les chênes dominants et codominants, respectivement; ils couvrent $0,29 \pm 0,08 m^2$ et $0,18 \pm 0,17 m^2$ chez les frênes des étages supérieurs (figure 9). Ceux touchant les chênes causent autant de dommages chez les frênes infectés. Toutefois, la surface des zones nécrosées sur les chênes et les frênes codominants présentent la plus grande variabilité (figure 9). Ces derniers sont gravement atteints suggérant qu'ils sont malades depuis fort longtemps et qu'ils sont probablement aussi vieux que les dominants. Le chêne figurant à la planche 2.4 illustre bien un tel cas.

Surface du chancre selon le diamètre des arbres

La distribution de la taille des chancres en fonction du diamètre des arbres est présentée à la figure 10. Le nuage de points n'affiche aucune relation entre les 2 variables ni pour le chêne ni pour le frêne. Les chancres de $0,35 m^2$ à $0,61 m^2$ sur le tronc des arbres sont les plus graves (11); ils touchent

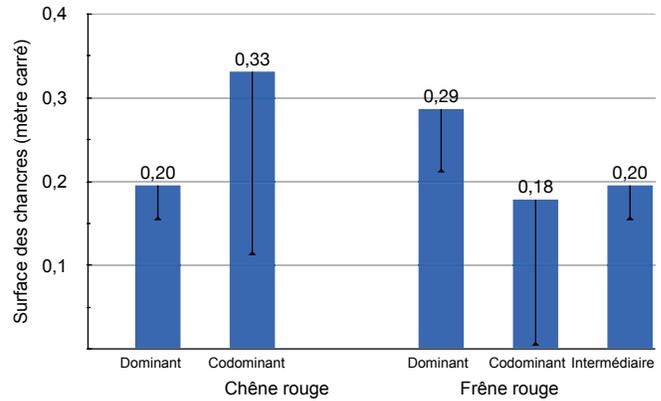


Figure 9. Surface des chancres (moyenne ± écart type) selon l'essence et l'étage du couvert forestier.

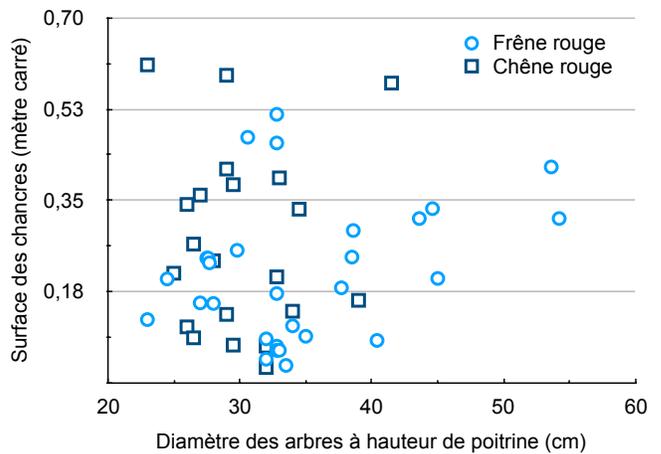


Figure 10. Surface des chancres (m^2) selon le diamètre des arbres infectés et l'essence.

6 chênes et 3 frênes de l'étage codominant ou intermédiaire et seulement 2 arbres dominants de plus de 40 cm de diamètre (figure 10). Ces arbres sont atteints d'une carie généralisée de l'aubier et du cœur et pour la plupart, ils sont voués à mourir à brève échéance.

Les arbres atteints d'une nécrose dont la surface varie de $0,18 m^2$ à $0,35 m^2$ se distribuent dans tous les étages du couvert. Ils ont néanmoins un point de faiblesse à la hauteur médiane du chancre sur tronc. Ces arbres, surtout ceux de l'étage intermédiaire ou codominant, risquent de céder lors d'une bourrasque. Le chêne rouge figurant à la planche 2.5 illustre bien cette éventualité.

Un fait intéressant concerne 26 chancres sur 55 (47 %) mesurant moins de $0,18 m^2$. La plupart (24/26) de ceux-ci se sont formés sur des arbres dont le dhp est inférieur à 35 cm (figure 10). Ces observations suggèrent que les chênes et les frênes les moins vigoureux de l'étage intermédiaire ou codominant sont sensibles aux plus récentes infections causées par *F. punctata*. La planche 1.1 illustre bien la phase initiale d'infection de la maladie à partir d'un nœud pourri sur un frêne codominant.

La forte incidence de la maladie sur les chênes (52,6%), la densité variable du peuplement ($G = 25,3 \pm 7 \text{ m}^2/\text{ha}$) et la piètre qualité des arbres en général témoignent de conditions de croissance suboptimales pour le chêne rouge au site de Beauceville.

Quelques chênes ont d'ailleurs largement dépassé l'âge de maturité pathologique. Pour les 3 chênes porteurs d'un chancre de $0,53 \text{ m}^2$ ou plus (figure 10), les pertes engendrées par la pourriture sont en effet plus grandes que les gains de croissance. En d'autres mots, ces arbres se dégradent plus vite qu'ils croissent. Les chênes avec un chancre de $0,35 \text{ m}^2$ à $0,53 \text{ m}^2$ sont aussi bien mal en point et leur tronc risque aussi de se briser dans la plupart des cas.

Pour sa part, le frêne rouge est une essence de début de succession qui devient mature dès l'âge de 70 ans (MFFP, 2013). Or, pour s'établir et pousser rapidement, le frêne requiert des trouées du couvert forestier comme celles créées, entre autres, par la disparition des ormes d'Amérique victimes de la maladie hollandaise. Les frênes matures ayant profité de meilleures conditions de lumière dès leur jeune âge sont grands, sains et encore vigoureux. Ils dominent le peuplement et peuvent vivre beaucoup plus longtemps que les autres. Les frênes qui ont poussé lentement sont souvent défectueux, avec une écorce épaisse et crevassée; ils appartiennent aux étages subordonnés du peuplement. Les frênes codominants et intermédiaires porteurs de chancres multiples ou d'un chancre de plus de $0,35 \text{ m}^2$ dans le parc de Duberger ont probablement atteint leur âge de maturité pathologique (figure 10).

Les frênes meurent prématurément pour plusieurs raisons. Ceux dont le tronc est fourchu ont une faiblesse structurale qui les rend sensibles au vent ou au verglas, par exemple. Les arbres en bouquet, généralement penchés et instables, sont sensibles au renversement parce que 1) la faiblesse du système racinaire mal développé et asymétrique les prédispose au chablis et 2) les inondations fréquentes et prolongées en milieu riverain provoquent l'asphyxie des racines. Finalement, les frênes infectés par *F. punctata* sont insidieusement rongés de l'intérieur par la carie blanche spongieuse; avec le temps, leur tronc menace aussi de rompre sous la force du vent (Walla, 1983).

Qu'il s'agisse des frênes ou des chênes, le faible lien entre la taille des chancres et le diamètre des arbres (figure 10) renforce l'argument que la formation de chancres est davantage corrélée à la faible vigueur des arbres. En somme, les nécroses fusiformes de $0,35 \text{ m}^2$ à $0,61 \text{ m}^2$ révèlent une pourriture avancée du cœur et de l'aubier pour la plupart, résultant du laps de temps très long écoulé depuis le début de l'infection.

Évolution de la carie chancreuse : synthèse

Les résultats présentés ci-dessus permettent de retracer les phases d'évolution de la maladie causée par *F. punctata* sur le chêne rouge et le frêne rouge dans deux peuplements au Québec. Le champignon envahit le bois, profitant des faiblesses du système de défense naturelle de son hôte. Il s'immisce par

un nœud ouvert sur les 5 premiers mètres du tronc pour infecter les couches superficielles de l'aubier, tuant le cambium au passage. Une nécrose apparaît au pourtour du nœud. Elle est bordée d'un cal en forme de médaillon se démarquant du bois sain au cours des premières années suivant l'infection (planche 1.1).

Avec le temps, la nécrose s'étend en suivant le fil du bois pour former un chancre allongé, de forme elliptique. La progression de la carie dans les couches superficielles de l'aubier est en effet plus rapide dans le sens longitudinal que dans le sens tangentiel ou radial. Les premiers basidiomes en croûte apparaissent sur l'écorce encore solidement accrochée au bois pourri sous-jacent, ne vivant que le temps d'une ou deux saisons de végétation. Ces derniers sont en effet annuels ou biennaux sur les arbres vivants. Le bois avarié ne touche alors que les 5 premiers centimètres de l'aubier et le chancre mesure 75 cm ou moins de longueur (figure 8; planche 1.2).

Le cal formé au pourtour de la nécrose ne réussit pas à stopper la progression de la carie dans le sens tangentiel. La nécrose s'élargit au-delà d'une face du tronc et les cals irréguliers deviennent de plus en plus proéminents. L'écorce se détache par endroits dévoilant un nœud pourri au centre du chancre. De nouveaux basidiomes jaune ocre s'ajoutent aux plus vieux qui virent au brun rougeâtre puis au brun grisâtre. Une masse fongique noirâtre, stérile (sans spores) et criblée de trous d'insectes mycophages est parfois sortie au centre du chancre. Les basidiomes se développent près du cal dans les zones nouvellement nécrosées.

Le chancre prend alors une forme en fuseau qui s'allonge au fur et à mesure que la carie blanche progresse dans l'aubier (planche 2.3). La pourriture tarde à pénétrer en profondeur, et seuls les chancres de 75 cm ou plus de longueur sont pourris en profondeur avec au milieu un trou de nœud qui atteint le cœur. Ceux issus d'un gros nœud pourri sont les plus étendus : ils mesurent en moyenne $0,33 \pm 0,22 \text{ m}^2$ sur les chênes codominants, et $0,29 \pm 0,08 \text{ m}^2$ sur les frênes dominants. La taille des chancres sur les arbres codominants affiche la plus grande variation (figure 9).

Dans les vieux chancres, l'écorce se détache facilement du bois pourri, brun jaunâtre, de texture spongieuse et friable. Parvenu au stade ultime de dégradation, le chancre devient une cavité bordée d'un cal épais et festonné (planche 1.5). La cicatrice du nœud n'est plus perceptible. Les nouveaux basidiomes sont moins fréquents et souvent absents.

Les chancres de stade 5 ont $0,35 \text{ m}^2$ ou plus et touchent en moyenne $60 \pm 2 \%$ de la circonférence et créent un point de faiblesse important sur le tronc (planche 2.5). Les arbres de tous les étages du couvert forestier peuvent être atteints gravement, mais seuls les intermédiaires et les codominants, pourris jusqu'au cœur, menacent de rompre sous la force du vent.

Conclusion

La virulence de *F. punctata* sur le frêne et le chêne est comparable à celle d'autres agents pathogènes dont les effets débilissants sur la santé des arbres sont connus depuis

longtemps et largement documentés : *Inonotus glomeratus* Peck (Murrill) sur l'érable rouge et le hêtre à grandes feuilles, *Phellinus everhartii* (Ellis et Gall.) Ames, *P. spiculosus* (Campb. et Davids.) Niemela sur le chêne rouge ainsi que *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilat, *Phellinus betulinus* (Murrill) Parmasto et *Cystostereum murrayi* (Beck et Curtis) Pouz. sur le bouleau jaune et le bouleau à papier (Boyce, 1961; Campbell et Davidson, 1939; 1941; 1942; Toole, 1954). Certains de ces champignons sont particulièrement virulents sur les arbres occupant les basses terres en milieu riverain (Boyce, 1961; Walker et Watterson, 1972).

Le polypore ponctué est ubiquiste et largement répandu sur le bois mort. Néanmoins, les sites de Québec et de Beauceville sont pour l'heure les seuls cas au Québec pour lesquels il y a eu une étude approfondie de l'incidence de la maladie sur les arbres vivants. D'autres relevés seront nécessaires pour vérifier si les conditions ambiantes en milieu riverain prédisposent les arbres aux infections à l'origine de chancres sur le tronc du chêne rouge et du frêne rouge. C'est une piste de recherche à explorer.

Il faut craindre une augmentation de l'incidence de *F. punctata* particulièrement dans les frênaies rouges riveraines les plus menacées par l'invasion de l'agrile du frêne. Cet insecte ravage d'ores et déjà les frênes dans les villes et les parcs périurbains, de Gatineau jusqu'à Montréal, et ceux occupant les rives de la rivière Richelieu (ACIA, 2018). Sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, l'insecte a envahi les frênes, de Valleyfield jusqu'à Varennes. La progression vers l'est de l'épidémie est inexorable, car des foyers satellites sont apparus depuis peu dans d'autres municipalités y compris la ville de Québec. Il sera vraisemblablement impossible de récupérer tous les frênes infestés par les agriles en dehors des zones périurbaines, de sorte que les arbres mourants et les chicots deviendront des refuges de choix pour *F. punctata*, un champignon dont la virulence est désormais mieux connue.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent d'abord aux réviseurs scientifiques qui ont apporté des commentaires éclairants et des suggestions fort utiles pour améliorer le manuscrit. Nous tenons aussi à remercier Jean Bérubé, Ph. D., et Julie Dubé, technicienne de laboratoire, du Centre de foresterie des Laurentides (CFL, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada), qui ont confirmé par l'analyse moléculaire l'identité de l'isolat UL17005, en provenance du parc des Rapides-du-Diable. Un remerciement tout aussi spécial à deux personnes de l'Université Laval : Léonie Côté, pour l'analyse moléculaire de l'isolat UL17003 en provenance du parc de Duberger, et Martine Lapointe, pour la confection de la carte illustrant les sites d'études. Nous avons aussi apprécié les commentaires de Louis Bernier, Ph. D., du Centre d'étude de la forêt de l'Université Laval qui a généreusement accepté de lire le manuscrit et nous prodiguer quelques conseils. Enfin, nous remercions Philippe Tanguay, Ph. D., conservateur de la mycothèque René Pomerleau (CFL) qui a consigné et catalogué les *exsiccata* de champignons étudiés. ◀

Références

- [ACIA] AGENCE CANADIENNE D'INSPECTION DES ALIMENTS, 2018. L'agrile du frêne – Questions et réponses. Disponible en ligne à : <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/insectes/agrile-du-frene/faq/fra/>. [Visité le 2018-02-03].
- ALTSCHUL, S.F., W. GISH, W. MILLER, E.D. MYERS et D.J. LIPMAN, 1990. Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215 : 403-410.
- ALTSCHUL, S.F., T.L. MADDEN, A.A. SCHÄFFER, J. ZHANG, Z. ZHANG, W. MILLER et D.J. Lipman, 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25 : 389-340.
- BERRY, F.H., 1985. Reducing decay losses in high-value hardwoods - A guide for woodland owners and managers. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Delaware, Ohio, Agriculture Handbook no 595, 23 p.
- BODDY, L. et A.D.M. RAYNER, 1983. Ecological roles of Basidiomycetes forming decay communities in attached oak branches. *New Phytologist*, 93 : 77-88.
- BOULET, B., 2003. Les champignons des arbres de l'est de l'Amérique du Nord. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, 727 p.
- BOYCE, J.S., 1961. *Forest Pathology*. 3^e édition, McGraw-Hill, New York, 572 p.
- CAMPBELL, W.A. et R.W. DAVIDSON, 1939. Sterile conks of *Polyporus glomeratus* and associated cankers on beech and red maple. *Mycologia*, 31 : 606-611.
- CAMPBELL, W.A. et R.W. DAVIDSON, 1941. Cankers and decay of yellow birch associated with *Fomes igniarius* var. *laevigatus*. *Journal of Forestry*, 39 : 559-560.
- CAMPBELL, W.A. et R.W. DAVIDSON, 1942. A species of *Poria* causing rot and cankers of hickory and oak. *Mycologia*, 34 (1) : 17-26.
- DAVID, A., B. DEQUATRE et J. FIASSON, 1982. Two new *Phellinus* with globose cyanophilous spores. *Mycotaxon*, 14 : 160-174.
- DECOCK, C., S.H. FIGUEROA, G. ROBLEDOS et G. CASTILLO, 2007. *Fomitiporia punctata* (Basidiomycota, Hymenochaetales) and its presumed taxonomic synonyms in America: taxonomy and phylogeny of some species from tropical/subtropical areas. *Mycologia*, 99 (5) : 733-752.
- FRANCL, L.J., 2001. The disease triangle: A plant pathological paradigm revisited. Department of Plant Pathology, North Dakota State University, The Plant Health Instructor. doi:10.1094/PHI-T-2001-0517-01. [Visité le 2017-12-17].
- GAGNÉ, A., J.-L. Jany, J. BOUSQUET et D.P. KHASA, 2006. Ectomycorrhizal fungal communities of nursery-inoculated seedlings outplanted on clear-cut sites in northern Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 : 1684-1694.
- GARBELOTTO, M. et P. GONTHIER, 2017. Variability and disturbances as key factors in forest pathology and plant health studies. *Forests*, 8(11) : 441.
- GARDES, M. et T.D. BRUNS, 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology*, 2 (2) : 113-118.
- GILBERTSON, R.L., 1981. Wood-rooting fungi of North America. *Mycologia*, 72 : 1-49.
- GILBERTSON, R.L. et L. RYVARDEN, 1987. North American polypores - vol. 2: *Megasporoporia - Wrightoporia*. *Fungiflora*, Oslo, p. 434-885.
- HALL, T.A., 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41 : 95-98. Disponible en ligne à : <http://www.mbio.ncsu.edu/BioEdit/bioedit.html>.
- LOWE, J.L., 1966. Polyporaceae of North America - The genus *Poria*. State University College of Forestry, Syracuse University, NY, Technical Publication no 90, 183 p.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2013. Le Guide sylvicole - Tome 1 - Fondements biologiques de la sylviculture. Sous la supervision de B. Boulet et M. Huot (coord.), Les publications du Québec, Québec, 1011 p.

- [NCBI] NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 1998. IgBLAST (Basic Local Alignment Search Tool). Disponible en ligne à : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>. [Visité le 2017-10-05].
- NOBLES, M.K., 1948. Studies in forest pathology - VI - Identification of cultures of wood-rotting fungi. Canadian Journal of Research, Sect. C, 26: 281-431.
- RIFFLE, J.W. et K.E. CONWAY, 1986. *Phellinus* stem decays of hardwoods. Chap. 38. Dans : Riffle, J.W. et G.W. Peterson (édit.). Diseases of trees in the Great Plains. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, Fort Collins, CO. General Technical Report RM-129, p. 83-85. Disponible en ligne à : <https://www.fs.usda.gov/treesearch-beta/pubs/6244>.
- SCHWARZE, F.W.M.R., J. ENGELS et C. MATTHECK, 2000. Fungal strategies of wood decay in trees. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 185 p.
- STALPERS, J.A., 1978. Identification of wood-inhabiting Aphyllophorales in pure culture. Centraal-bureau voor Schimmel-Kult., Baarn, Studies in Mycology, n° 16, 248 p.
- STEVENS, R.B., 1960. Cultural practices in disease control. Dans : HORSFALL, J.G. et A.E. DIMOND (édit.). Plant pathology. An advanced treatise. Vol. 3. Academic Press, New York, p. 357-429.
- TOOLE, E.R., 1954. Rot and cankers on oak and honeylocust caused by *Poria spiculosa*. Journal of Forestry, 52: 941-942. doi:10.3390/f811044.
- WALKER, L.C. et K.G. WATTERSON, 1972. Forestry Bulletin n° 25: Silviculture of southern bottomland hardwoods. S.F. Austin State University, Nacogdoches, Texas, Forestry Bulletins n° 1-25, 1957-1972, Book 22. Disponible en ligne à : <http://scholarworks.sfasu.edu/forestrybulletins/22>.
- WALLA, J.A., 1983. Rot fungi on green ash in North Dakota windbreaks resurveyed. Phytopathology, 73: 839.
- WALLA, J.A., 1984. Incidence of *Phellinus punctatus* on living woody plants in North Dakota. Plant Disease, 68: 252-253. Disponible en ligne à : https://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n03_252.PDF.
- WHITE, T.J., T.D. BRUNS, S. Lee et J. TAYLOR, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Dans : Innis, M.A., D.H. Gelfand, J.J. Snisky et T.J. White (édit.). PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, New York, p. 315-322.

Caractérisation et protection de l'habitat du poisson dans la rivière Beaudette (Québec)

Emily Sinave et Amélie Grégoire Taillefer

Résumé

La rivière Beaudette est un lieu de fraie pour diverses espèces de poissons et un sanctuaire de pêche important pour la région de Vaudreuil-Soulanges. Toutefois, elle subit diverses dégradations à la suite du lessivage de sédiments provenant des activités agricoles environnantes et de la dénaturalisation des berges en milieu résidentiel. Le but de cette étude était d'acquies des connaissances sur le bassin versant de la rivière Beaudette (Québec) afin de documenter les menaces affectant le potentiel de l'habitat du poisson. Ceci s'est fait en caractérisant l'habitat, en évaluant la qualité des bandes riveraines, en analysant la qualité de l'eau, en recensant les marques d'érosion des rives et par des inventaires ichtyologiques. Les analyses de la qualité de l'habitat du poisson indiquent que près de 75 % de la rivière obtient une cote variant de « faible » à « très faible ». De plus, la rivière obtient généralement un indice « faible » en ce qui concerne sa capacité à accomplir ses fonctions écologiques. L'inventaire ichtyologique démontre que la rivière Beaudette comprend une richesse spécifique qui est plus grande en présence de bandes riveraines de bonne qualité ainsi qu'à des valeurs élevées de l'indice de qualité de l'habitat du poisson. Ces résultats confirment le besoin d'intervenir pour assurer la pérennité des écosystèmes de la rivière Beaudette.

MOTS CLÉS : bande riveraine, érosion, gestion du territoire, paysages agricoles, qualité de l'eau

Abstract

The section of the Beaudette River in the Regional County Municipality of Vaudreuil-Soulanges in southern Québec (Canada) is an important fish sanctuary. However, it is being negatively impacted by sediment-laden agricultural runoff and bare shorelines in residential areas. The present study sought to describe the watershed to obtain a better understanding of the threats to habitat quality and thus allow for more effective intervention. This was done through the characterization of fish habitat; assessment of riparian band quality; analysis of water quality; the mapping of erosion, sedimentation and obstacles; and fish sampling. The analysis of fish habitat quality showed this to be low to very low at nearly 75% of the sampling stations. Bacteriological and physicochemical water quality indices were also generally low, indicating that ecological functions of the river are impaired. The fish sampling data show that the river has a higher species richness in sections with good quality riparian bands and when fish habitat index values are high. These results highlight the need for appropriate management actions to ensure the sustainability of the Beaudette River ecosystem.

KEYWORDS: agricultural landscapes, erosion, land management, water quality, watershed

Introduction et description de l'aire d'étude

Le bassin versant de la rivière Beaudette couvre une superficie de 200,8 km². Partagé entre le Québec et l'Ontario, il se déverse dans le lac Saint-François (fleuve Saint-Laurent). La majorité de la surface drainée de ce bassin versant se trouve en Ontario. Le secteur à l'étude est situé au Québec et représente 53,7 km² (26,8 %) du bassin (COBAVER-VS, 2016; figure 1). La rivière Beaudette s'y étire sur 62,3 km linéaires en incluant ses nombreux tributaires. Le bassin versant se trouve principalement dans les municipalités de Rivière-Beaudette et de Saint-Télesphore, avec une petite section appartenant à la municipalité de Saint-Polycarpe. La rivière coule généralement dans une plaine de basse altitude (30 à 50 m), à l'exception du secteur situé en amont qui est légèrement plus vallonné (pic d'altitude à 84 m) (COBAVER-VS, 2016), ce qui a pour effet qu'on y trouve peu de zones de rapides et plus de zones d'eau stagnante, ce qui favorise l'accumulation de sédiments et des conditions eutrophes.

Le milieu agricole représente 78 % de la portion québécoise du bassin versant de la rivière Beaudette (tableau 1).

Les grandes cultures (maïs, soya et céréales) y dominent le paysage sur 83 % du territoire. Le secteur nord est surtout caractérisé par des milieux ouverts en champs agricoles. La superficie du milieu boisé représente aujourd'hui seulement 8,6 km² (17 %) du bassin versant. La perte en superficie forestière au cours des ans est liée au développement industriel (sablrière en exploitation), résidentiel et agricole; ceci y a induit des pertes d'habitats fauniques et floristiques. Le sud du bassin comprend cependant un vaste corridor de boisés et de milieux humides offrant une multitude d'habitats naturels. Les milieux humides couvrent approximativement 3,2 km² (4,7 %) de la superficie du

Emily Sinave (M. Sc. écologie) était chargée de projet et des communications au Conseil du bassin versant de la région de Vaudreuil-Soulanges (COBAVER-VS) au moment de la récolte et de l'analyse des données de cette étude. Elle est maintenant biologiste au Cree Nation Government.

Amélie Grégoire Taillefer (Ph. D. écologie) est biologiste et chargée de projet au COBAVER-VS.

projetcom@cobaver-vs.org

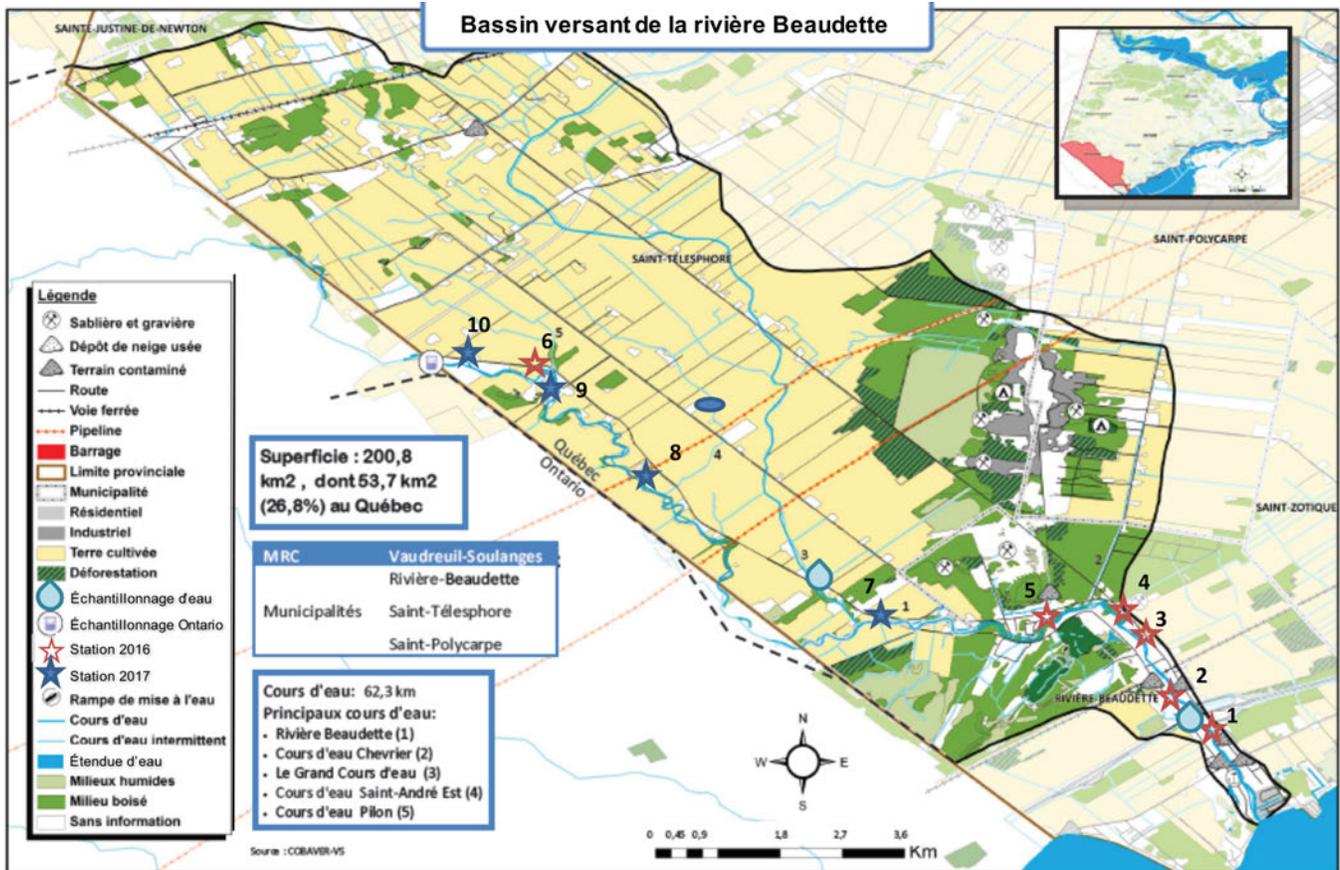


Figure 1. Portrait du bassin versant de la rivière Beaudette (tiré de COBAVER-VS, 2016) : répartition des sites d'échantillonnage des eaux de surface de la rivière Beaudette et des stations d'inventaires ichtyologiques au cours des années 2016 et 2017.

Tableau 1. Caractéristiques du bassin versant de la rivière Beaudette en 2016-2017 au Québec.

Bassin versant	Rivière Beaudette
Superficie totale du bassin (km ²) *	200,8
Superficie du bassin au Québec (km ²) [†]	53,7
Longueur de cours d'eau (km) [†]	62,3
Nombre d'habitants [†]	2856
Municipalité où se trouve l'exutoire	Rivière-Beaudette
Superficie urbaine (km ²) [†]	4,8 (8,9%)
Superficie industrielle (km ²) [†]	0,01 (0,019%)
Superficie de la sablière (km ²) [‡]	1,69 (3,2%)
Superficie boisée (km ²) [†]	8,6 (17%)
Superficie de milieux humides (km ²) [*]	3,2 (4,7%)
Superficie en culture assurée (km ²) [§]	30,7 (57,2%)
Nombre d'entreprises agricoles [†]	45

* CIC et MDDELCC, 2010.

[†] MRC de Vaudreuil-Soulanges (JMap), 2016.

[‡] COBAVER-VS, 2016.

[§] Financière agricole du Québec, 2012.

bassin, et sont représentés majoritairement par des marécages et des tourbières boisées. Le bassin comprend également un parc industriel (0,01 km²) et une sablière (1,69 km²) (COBAVER-VS, 2016). Le milieu urbain et résidentiel correspond à 4,8 km² (8,9%), situé principalement sur le territoire de la municipalité de Rivière-Beaudette. On estime à 2856 personnes (Statistique Canada, 2016) la population vivant en milieu urbain et résidentiel dans le secteur d'étude.

La rivière Beaudette est un lieu de fraie pour plusieurs espèces de poissons et un sanctuaire de pêche important pour la région de Vaudreuil-Soulanges (MRC de Vaudreuil-Soulanges, 2004). Sa désignation comme sanctuaire en 1990, par le biais d'interdiction de pêche du 1^{er} avril au 30 juin de chaque année, permet de protéger les populations de poissons en période de reproduction. Ce sanctuaire est situé en amont du pont de l'autoroute 20 et s'étend jusqu'à la frontière ontarienne. En plus de son importante biodiversité aquatique, la rivière constitue un couloir migratoire important pour la faune aviaire. Toutefois, l'apport de sédiments provenant des activités agricoles environnantes et la dénaturalisation des berges en milieu résidentiel occasionnent des problèmes dans cette rivière transfrontalière partagée entre le Québec et l'Ontario. En effet, la qualité de l'eau de la rivière Beaudette a été évaluée de mauvaise à douteuse par le ministère du

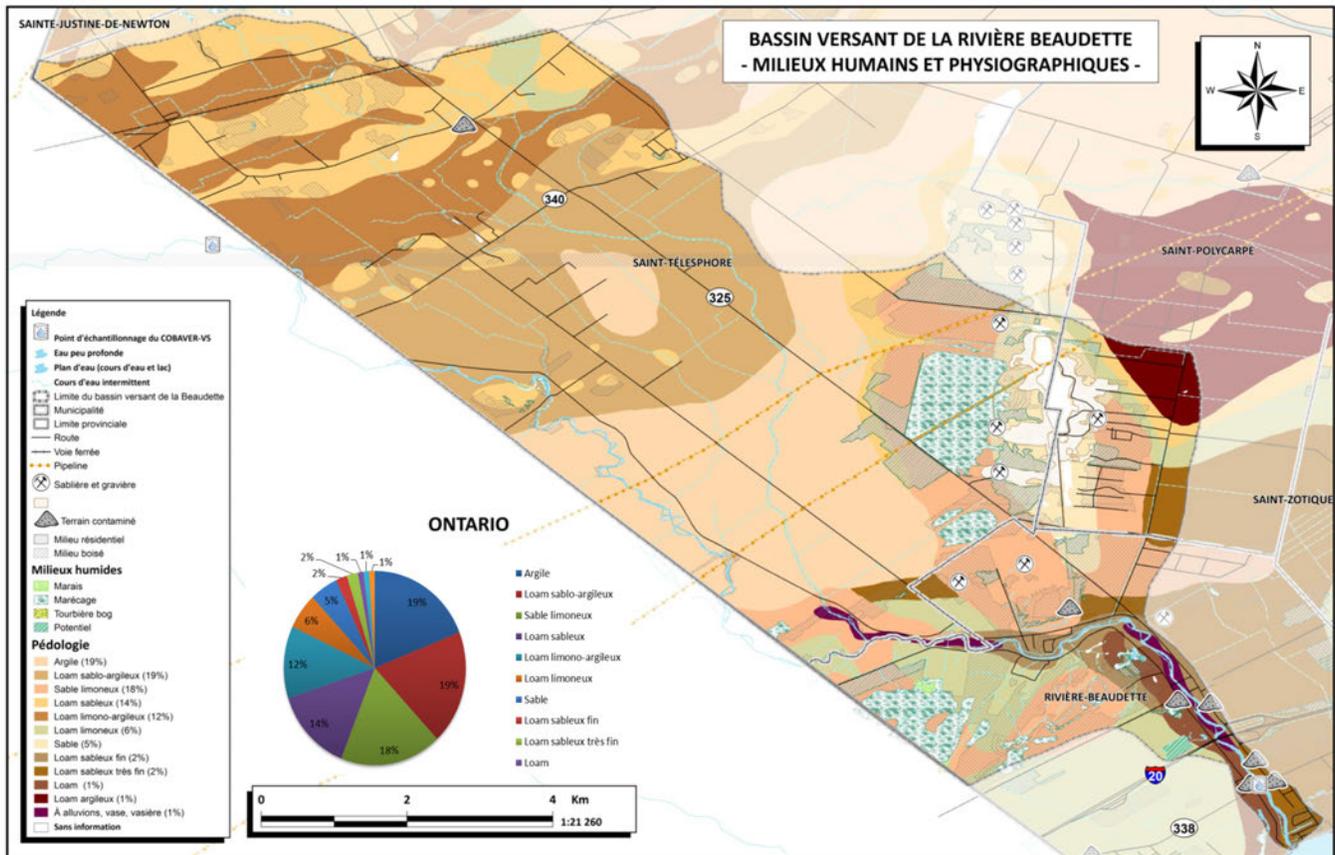


Figure 2. Utilisation du territoire et composition des types de sols du bassin versant de la rivière Beaudette (tiré de COBAVER-VS, 2016).

Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC, 1999; 2017; Simard, 2004). Ainsi, l'habitat d'espèces de poissons sensibles à la pollution comme le chevalier jaune (*Moxostoma valenciennesi*) et le méné d'herbe (*Notropis bifrenatus*), ainsi que celui d'espèces d'intérêt pour la pêche sportive comme le doré jaune (*Sander vitreus*), l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*) et l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*), sont menacés. Les tributaires de la rivière, qui traversent le milieu agricole, servent de refuge aux espèces fourragères qui constituent la base du régime alimentaire de plusieurs espèces piscivores (Dubé et Garceau, 2009).

Problématique et objectifs

Une problématique environnementale commune à plusieurs rivières des basses terres de la vallée du Saint-Laurent, dont celle à l'étude, est le phénomène d'envasement qui contribue à augmenter la turbidité de l'eau et qui dégrade la qualité des habitats fauniques. Le degré d'érodabilité du sol du chenal de la rivière Beaudette serait jugé de « moyen » à « élevé » selon une estimation qualitative (Roy et Godbout, 2014). Les sols mous et érodables du bassin de la rivière Beaudette sont constitués particulièrement de sable et de loam (figure 2; Lajoie et Stobbe, 1951). L'objectif de ce travail était de documenter et cartographier la branche principale de la rivière Beaudette,

située au Québec. Pour ce faire, nous avons caractérisé les bandes riveraines, les communautés de poissons et la qualité de l'habitat du poisson afin d'acquies de l'information additionnelle permettant de dresser un portrait réaliste de la condition de la rivière afin de mieux orienter les interventions à venir pour améliorer l'habitat du poisson. Les nouvelles informations acquises permettront d'élaborer des plans d'aménagement de bandes riveraines en milieu urbain de même que plusieurs autres actions visant à améliorer l'habitat du poisson.

Matériel et méthodes

Caractérisation des berges

La caractérisation des berges de la branche principale de la rivière Beaudette a été réalisée au cours de l'été 2016. Les points d'érosion, les obstacles à l'écoulement de l'eau ainsi que toute autre information pertinente (telles, par exemple, la présence de murets et de déchets, la proximité du fumier, observation de la faune) ont été recensés et géoréférencés à l'aide d'un GPS.

La largeur du replat ou de la pente, la composition de la berge, la profondeur de l'eau, le type de substrat du lit et d'occupation du territoire ont été mesurés en suivant un transect d'échantillonnage d'une largeur de 10 m à partir de la ligne des hautes eaux. La longueur des transects dépendait de l'homogénéité de la bande riveraine. Le transect se terminait lorsque la bande riveraine démontrait un changement dans

sa composition. Ces variables ont été utilisées pour le calcul d'un indice de la qualité des bandes riveraines (IQBR) et d'un indice de qualité d'habitat du poisson (IQHP). L'IQBR, développé par le MDDELCC (St-Jacques et Richard, 1998) permet de catégoriser les bandes riveraines en 5 classes allant de « très faible » à « excellent », selon leur potentiel à remplir les fonctions écologiques en regard de la protection des écosystèmes aquatiques. Cet indice permet d'évaluer rapidement l'état des berges et leur incidence sur la santé des cours d'eau en fonction de la superficie occupée par 9 composantes du paysage (forêt, arbustaie, herbaçaie, coupe forestière, friche et pâturage, culture, sol nu, socle rocheux et infrastructure d'origine anthropique) mesurées sur des secteurs riverains.

L'IQHP (*Quality Habitat Evaluation Index*, QHEI) conçu par l'Environmental Protection Agency (EPA) dans l'État d'Ohio (Rankin, 1989; Rankin, 1995) intègre 6 composantes physiques notées lors de la caractérisation d'une rivière : le type de substrat, la présence d'abris, la morphologie du lit du cours d'eau, la largeur de la bande riveraine, l'érosion de chacune des rives, la qualité des eaux lentes et rapides ainsi

que le gradient de drainage. Cet indice permet de faire une analyse plus large du potentiel d'un habitat à soutenir une communauté aquatique diversifiée. L'indice documente aussi l'intégrité biologique du milieu, soit la santé de l'écosystème aquatique. L'IQHP permet donc d'évaluer la qualité (pour toutes les espèces aquatiques confondues) des sections d'un cours d'eau. L'IQHP est catégorisé en 5 classes allant de « très faible » à « excellent » (tableau 2).

L'érosion des berges est un élément important à inventorier afin d'évaluer les problématiques liées à la qualité de l'eau et de cibler les interventions prioritaires. Ainsi, le type d'érosion (sapement, décrochement, arrachement, ravinement, etc.), la longueur ainsi que l'intensité du phénomène observé (faible, moyen ou fort) ont été notés et géoréférencés. La priorité d'intervention est évaluée en fonction de la force de l'évènement et de ce qu'il menace. Par exemple, un décrochement du talus, à forme et à ampleur égale, sera jugé moins prioritaire s'il se trouve en forêt que s'il se trouve à proximité d'une habitation ou d'une route. De plus, les obstacles à l'écoulement de l'eau (p. ex. : traverse à gué, drain, débris, arbre tombé, ponceau) ont été recensés lors de la caractérisation des cours d'eau. Par la suite, un niveau de priorité d'intervention a été attribué à chaque obstacle en fonction de la gravité de la situation.

La collecte des données a été effectuée sur des mini-ordinateurs iPAQ 110 de HP et les stations ont été géoréférencées à l'aide d'un GPS Oregon 600 Series de Garmin. La cartographie a été faite avec le logiciel ArcMap 10.0 d'ArcGIS desktop (ESRI, 2011).

Évaluation de la qualité des eaux de surface

L'échantillonnage des eaux de surface de l'aire d'étude a été réalisé à deux stations (figure 1). La première était située en aval, sur la route 338 près du chemin Sainte-Claire, dans la municipalité de Rivière-Beaudette (station Aval ci-après). Cette station fait partie du programme Réseau-rivières du MDDELCC (Hébert et Ouellet, 2005) pour le suivi de la qualité de l'eau des rivières du Québec. Les concentrations suivantes ont été analysées : le phosphore total, l'azote ammoniacal, les nitrites-nitrates, les coliformes fécaux, les matières en suspension (MES) et la chlorophylle a totale. Pour ces stations, des échantillons sont récoltés une fois par mois pendant toute l'année depuis 2011 (sauf durant les mois d'hiver, de novembre à mars, depuis 2014). La deuxième station est située à proximité de l'embouchure du Grand Cours d'Eau, tributaire de la rivière Beaudette (station Grand Cours d'Eau ci-après; figure 1). Comme cette station ne fait pas partie du Réseau-rivières, seules les concentrations de phosphore total, d'azote ammoniacal, de nitrites-nitrates et de MES ont été analysées. Les échantillons de cette station ont été récoltés toutes les deux semaines, de mai à octobre 2016. De plus, des paramètres ont été mesurés *in situ* pour ces 2 stations, soit la température, le pH, l'oxygène dissous et la turbidité de l'eau.

Tableau 2. Description des classes de l'indice de qualité d'habitat du poisson (IQHP) utilisées lors de la caractérisation du bassin versant de la rivière Beaudette au Québec.

Classe	Définition des classes de l'IQHP
>70	Excellente Substrat grossier (gros blocs, blocs, galets) sans limon; abris diversifiés; sinuosité élevée; excellents complexes « rapides-fosses »; courant rapide ou modéré; bonne bande riveraine; grande profondeur d'eau
54-70	Bonne Substrat grossier (blocs, galets, sable) sans/peu de limon; abris diversifiés; sinuosité modérée; excellents complexes « rapides-fosses »; courant rapide ou modéré; bonne bande riveraine; grande profondeur d'eau
43-54	Moyenne Substrat moyen (galets, gravier, sable, argile dure) recouvert d'un peu de limon; abris moyennement diversifiés; sinuosité modérée ou faible; quelques complexes « rapides-fosses »; courant modéré, lent ou interstitiel; bande riveraine réglementaire; profondeur d'eau moyenne
30-43	Faible Substrat moyen (gravier, sable, argile dure) recouvert d'un peu de limon; faible diversité d'abris; sinuosité faible; peu/pas de complexes « rapides-fosses »; courant lent ou interstitiel; bande riveraine réglementaire avec érosion modérée des berges; courant modéré; faible profondeur d'eau
0-30	Très faible Substrat fin (argile dure, détrit, vase) recouvert de limon; absence d'abris; sinuosité modérée/faible; pas de complexes « rapides-fosses »; courant interstitiel, intermittent ou modéré; bande riveraine adéquate ou non; très faible profondeur d'eau

Inventaire ichthyologique

En octobre 2016, les inventaires ichthyologiques aux stations 1 à 6 ont été réalisés en collaboration avec l'Institut des sciences environnementales du fleuve Saint-Laurent, le Raisin Region Conservation Authority et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP); les stations 7 à 10 se sont ajoutées en juillet 2017 (figure 1). Les stations ont été sélectionnées en fonction de l'accessibilité des sites, de la présence de personnel disponible pour réaliser le travail et du temps alloué. Une seine à ménés (12 m × 2 m, maille 1/8, poche carrée 6' × 6' × 6') a été utilisée pour la capture des poissons. Les individus capturés ont été identifiés, mesurés et ensuite remis à l'eau. Des photos ont été prises afin de faire valider l'identification des espèces par des experts du MFFP. Lorsque l'inventaire a été fait en collaboration avec l'équipe technique du MFFP, plusieurs individus ont été rapportés au laboratoire pour identification. À chaque station, la profondeur de l'eau, la vitesse du courant, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, la température, le type de substrat et la présence de macrophytes submergés et émergents ont été notés. Enfin, la tolérance à la pollution des espèces a été catégorisée selon l'étude de La Violette et collab. (2003).

Pour quantifier simultanément la richesse taxinomique et la répartition des espèces de la communauté, deux indices de diversité tenant compte de l'abondance et de la richesse en espèces ont été calculés. L'indice réciproque de diversité de Simpson (Morris et collab., 2014) calculé pour chacune des stations permet de comparer la dominance de chaque espèce. Une valeur élevée de l'indice représente une diversité élevée, et *vice versa*. L'indice de diversité de Shannon et Weaver (1948) a aussi été calculé afin de comparer la diversité des communautés dans chaque station, indépendamment du nombre de spécimens capturés. Pour la structure des communautés, une analyse multidimensionnelle (MDS) et une analyse multivariée des variances par permutation (PerMANOVA ou Adonis) basée sur la matrice de similarité de Bray-Curtis ont été utilisées pour évaluer la relation entre les stations. Avant ces analyses, le tableau des abondances d'espèces a subi une transformation de Hellinger (Legendre et Gallagher, 2001), afin de réduire le poids des faibles abondances et des nombreux 0. La procédure SIMPER (Clarke, 1993) a été utilisée afin de repérer les espèces qui sont les plus importantes dans la création des patrons de similarité. Les protocoles d'échantillonnage indépendants des communautés de poissons et des conditions environnementales ne permettent pas d'évaluer statistiquement la relation entre les variables potentiellement explicatives et la distribution des espèces. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du progiciel vegan du logiciel R version 3.4.2 (R Core Team, 2016).

Résultats

Caractérisation de la rivière

Indice de la qualité des bandes riveraines (IQBR)

L'état général des bandes riveraines de la rivière Beaudette est évalué « faible » et « très faible » dans 67 % des cas (figure 3). Les bandes riveraines classées « moyennes »

correspondent à 13 % des berges et sont surtout composées d'une seule strate herbacée. Les bandes riveraines ayant obtenu la cote « bonne » représentent 20 % des stations IQBR; aucune station n'a obtenu la cote « excellente ». De plus, 51 obstacles à l'écoulement ont été répertoriés. La majorité de ceux-ci étaient des drains (37 %), des arbres tombés (29 %), des débris de branches (14 %) et des traverses à gué (14 %). Le nombre de drains recensés pourrait être sous-estimé, puisque les drains étaient difficilement observables dans la végétation dense.

Lors de la caractérisation des berges de la rivière Beaudette, 79 marques d'érosion ont été répertoriées (figure 4). Ce nombre pourrait être sous-estimé, étant donné que la caractérisation s'est effectuée pendant l'été, alors que la végétation était la plus dense et pouvait dissimuler des marques d'érosion ou en minimiser l'ampleur. L'érosion par sapement (61 %) et celle par décrochement (37 %) étaient les types les plus fréquents, suivis des arrachements (1 %) et de l'érosion en bordure d'un pont ou ponceau (1 %). La majorité des marques d'érosion ont été évaluées comme étant de force faible à moyenne; la priorité d'intervention n'a pas été jugée urgente. Cependant, près de 20 % des marques d'érosion ont été qualifiées de force élevée et nécessitant une intervention urgente.

Indice de qualité de l'habitat du poisson (IQHP)

Un indice de qualité de l'habitat du poisson a été calculé pour chacune des stations du secteur à l'étude. L'IQHP calculé pour la rivière Beaudette est généralement « faible » et « très faible » (75 %). Seulement 16 % de la rivière a obtenu un indice « moyen »; 9 % a obtenu un indice « bon » et 1 %, un indice « excellent » (figure 5).

Qualité des eaux de surface

Analyses en laboratoire

Les concentrations en MES étaient très élevées dans les échantillons récoltés à la station Grand Cours d'Eau (jusqu'à 193 mg/l, figure 6). Ces concentrations suivent la tendance de la quantité de précipitations reçues, ce qui peut laisser penser qu'elles proviennent principalement d'une source de contamination diffuse. Les échantillons provenant de la station Beaudette, en aval, ont de faibles concentrations en MES (de 4 à 18 mg/l) qui se trouvent sous le critère de référence de la qualité de l'eau. Un seul échantillon de la station Beaudette dépassait ce critère. Le tributaire Grand Cours d'Eau est une source plus importante de MES, avec un pourcentage de dépassement du critère de qualité de l'eau dans plus de 80 % des cas et une amplitude de variation 3 fois plus grande qu'à la station Aval.

Les concentrations élevées de phosphore ne semblaient pas toujours suivre les épisodes de pluie (figure 7). La concentration la plus élevée se trouvait à la station du tributaire Grand Cours d'Eau. D'ailleurs, l'amplitude des variations y est nettement plus grande, ce qui implique des dépassements plus grands. Les deux stations comprennent plusieurs dépassements du critère (dans 67 % et 75 % des échantillons pour la station Aval et la station Grand Cours d'Eau, respectivement).

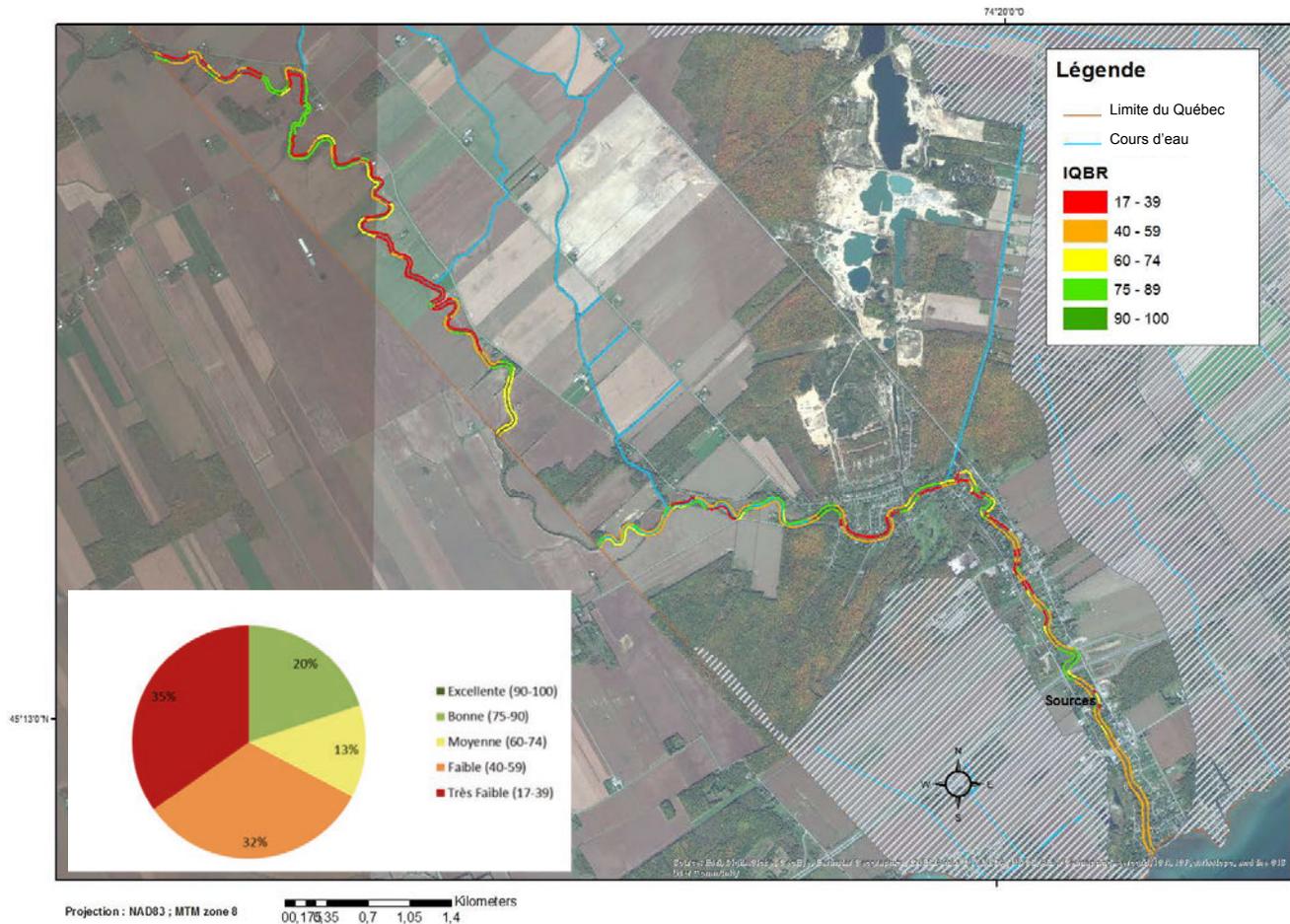


Figure 3. Valeur de l'Indice de qualité des bandes riveraines (IQBR) de chacun des secteurs riverains de 10 m de la rivière Beaudette au cours des années 2016 et 2017.

L'azote sous sa forme ammoniacale (NH_3 , calculé en fonction de la température et du pH de l'échantillon) ne présentait pas de dépassement pouvant être toxique pour la vie aquatique. Les valeurs pour la station Grand Cours d'Eau, en amont, variaient de 0,01 à 0,08 mg/l, sauf pour un échantillon atteignant 0,23 mg/l. À la station Aval, les valeurs variaient de 0,01 à 0,12 mg/l. Les nitrates-nitrites ($\text{NO}_3\text{-NO}_2$) variaient de 0,06 à 5,6 mg/l à la station Grand Cours d'Eau; 3 échantillons y présentaient des dépassements pouvant avoir un effet chronique sur la vie aquatique ($> 2,9$ mg/l). La station Aval présentait des valeurs variant de 0,04 à 3,1 mg/l, avec un seul échantillon dépassant le seuil de toxicité.

Analyses in situ

Les limites de critère de protection de la vie aquatique se situent entre des valeurs de pH de 6,5 et de 9,0 (MDDELCC, 2017). Le pH des échantillons récoltés à la station Grand Cours d'Eau variait de 6,9 à 8,2, avec une moyenne de 7,6. Les échantillons récoltés à la station Aval avaient des valeurs sensiblement similaires (de 6,9 à 8,3, avec une moyenne de 7,8). Ainsi, le pH respectait les limites de critères de protection de la vie aquatique.

Les critères de qualité de l'eau de surface stipulent qu'un pourcentage de saturation d'oxygène dissous supérieur à 57 % est nécessaire afin d'assurer la protection de la vie aquatique (MDDELCC, 2017). Nous avons mesuré une grande variabilité du pourcentage d'oxygène saturé dans le bassin versant de la rivière Beaudette: de plus de 87 % à 27 % à la station Grand Cours d'Eau, et de 63 % à 91 % à la station Aval. Les faibles concentrations en oxygène étaient surtout marquées à l'automne; cela peut correspondre à la tombée des feuilles qui pourrait avoir accentué l'activité microbienne décomposant la matière organique.

Une turbidité trop élevée empêche la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et diminue la croissance des algues et des plantes aquatiques. Les valeurs de turbidité des échantillons récoltés à chacun des sites d'échantillonnage variaient de 14 à 92 UNT pour la station Grand Cours d'Eau et de 4 à 20 UNT pour la station Aval.

Inventaire ichthyologique

Les inventaires ont permis d'identifier 31 espèces de poisson (tableau 3). Entre autres, le méné pâle (*Notropis volucellus*), considéré comme intolérant à la pollution, n'a été

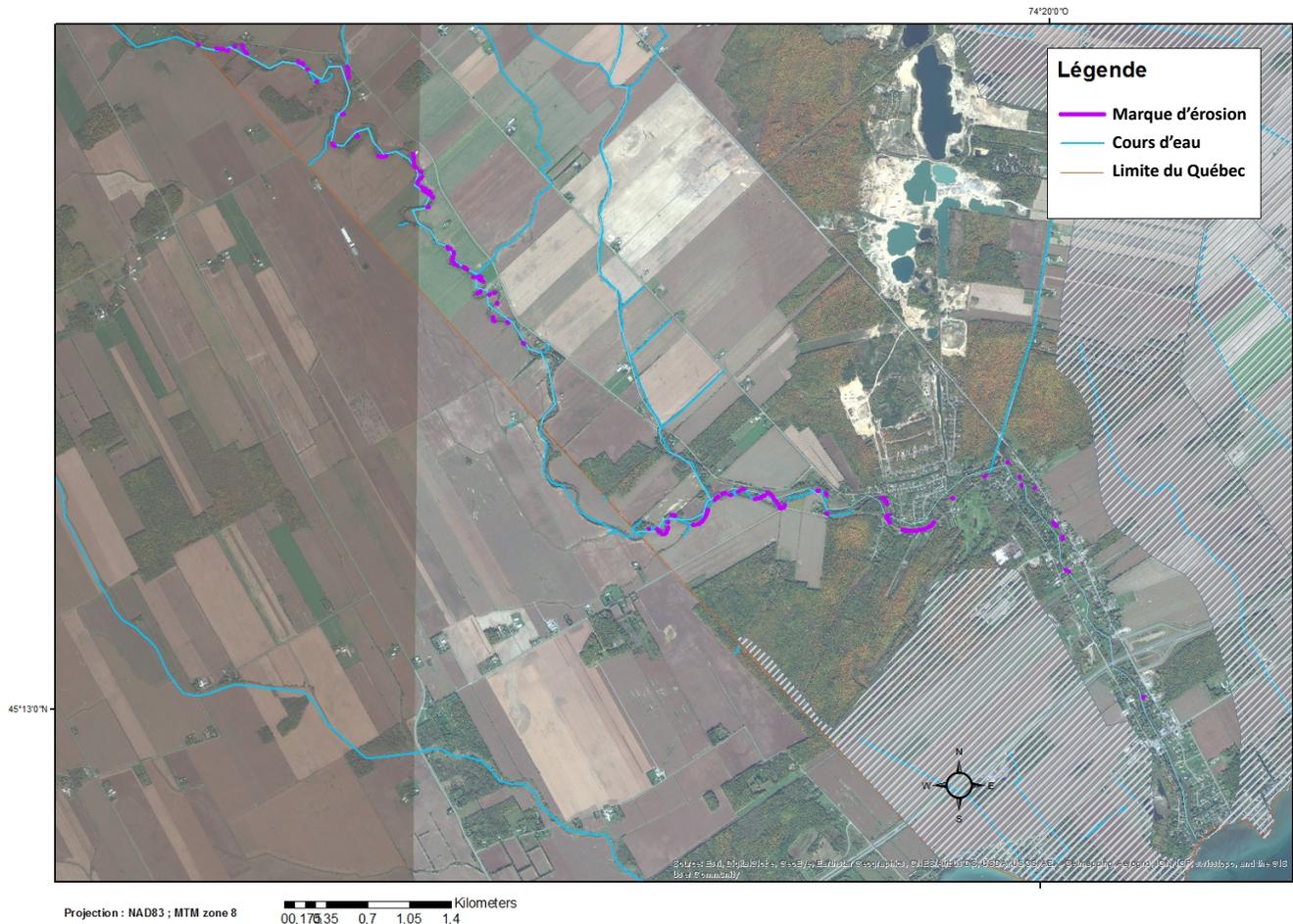


Figure 4. Emplacement des marques d'érosion de chacun des secteurs riverains de 10 m de la rivière Beaudette au cours des années 2016 et 2017.

trouvé qu'aux stations 5, 9 et 10. Une autre espèce considérée comme sensible à la pollution, le chevalier jaune, a été capturée pour sa part seulement à la station 6. Parmi les espèces identifiées, 18 ont une tolérance à la pollution intermédiaire et 7 sont considérées comme tolérantes à la pollution. Le gobie à taches noires, une espèce exotique envahissante (désignation provinciale – MFFP, 2018) a été trouvé en abondance. Aucune espèce en péril selon la classification du COSEPAC (2017) n'a été observée lors de l'inventaire. Les analyses de dominance et de diversité (tableau 4) montrent des patrons similaires. Ainsi, il est possible d'observer que la station 2 est plus diversifiée, suivie par les stations 9 et 6. L'ordination MDS a permis de mettre en évidence deux communautés bien définies ($Adonis R^2 = 0,39, p = 0,008$) (figure 8) en amont et en aval. Selon la procédure SIMPER, les espèces responsables de cette différence à plus de 20% (tableau 3) sont, en amont, le méné à nageoires rouges (*Luxilus cornutus*; 54%), le méné à museau arrondi (*Pimephales notatus*; 51%) et le méné jaune (*Notemigonus crysoleucas*; 28%), et en aval, le crapet arlequin (*Lepomis macrochirus*; 39%), le crayon-d'argent (*Labidesthes sicculus*; 26%) et le gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*; 20%).

Discussion

L'ensemble de nos observations révèle des conditions très différentes en aval et en amont de la rivière Beaudette, sauf pour ce qui est de la diversité des espèces de poissons qui semble déterminée principalement par les conditions locales. Des actions ont été entreprises par le COBAVER-VS pour améliorer l'habitat du poisson, mais plusieurs autres actions en milieux agricole et résidentiel devront être mises de l'avant pour augmenter la qualité des eaux de cette rivière à long terme.

L'habitat du poisson

Nos résultats indiquent que les stations ayant obtenu un IQHP « faible » ou « très faible » (et particulièrement ces dernières) semblent être situées dans le secteur aval de la rivière, en milieu résidentiel et urbain. En effet, ce secteur de la rivière est plus large et moins sinueux, avec peu de complexes « rapides-fosses » (Gurnell et collab., 1995). Le substrat y est également plus fin que dans le secteur en amont, et recouvert de limon. En milieu urbain, les résidents ont tendance à préférer des bandes riveraines libres des débris, de branches et de billots de bois, qui sont des sources importantes d'abris pour la faune aquatique. La

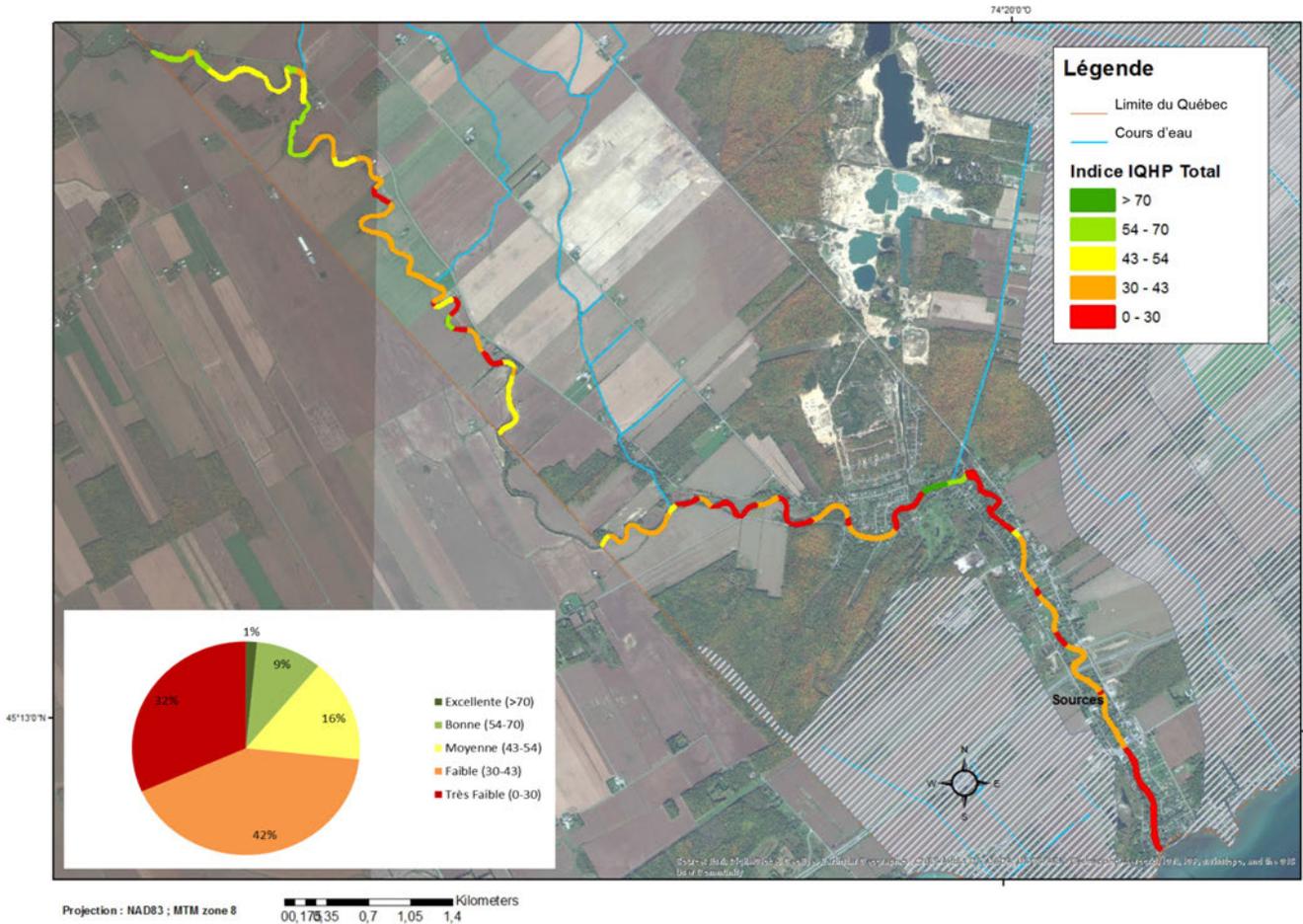


Figure 5. Valeur de l'Indice de qualité de l'habitat du poisson (IQHP) de chacun des secteurs riverains de 10 m de la rivière Beaudette au cours des années 2016 et 2017.

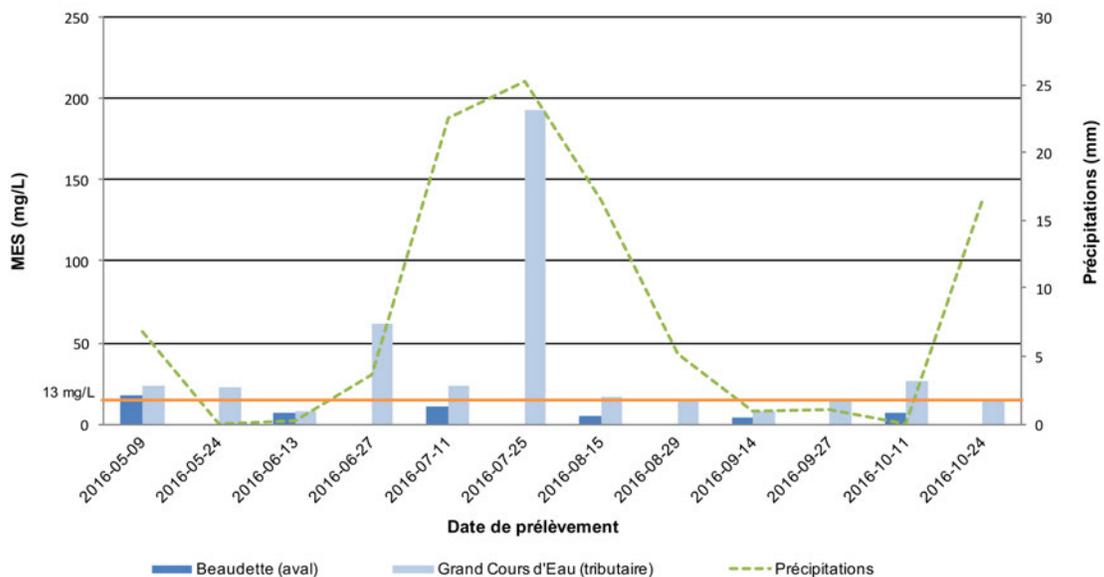


Figure 6. Résultats d'analyse des matières en suspension (MES) des échantillons d'eau de surface récoltés de mai à octobre 2016 dans deux sections de la rivière Beaudette (voir figure 1). La quantité de pluie tombée dans le secteur d'étude au cours des 48 heures précédant l'échantillonnage est aussi représentée.

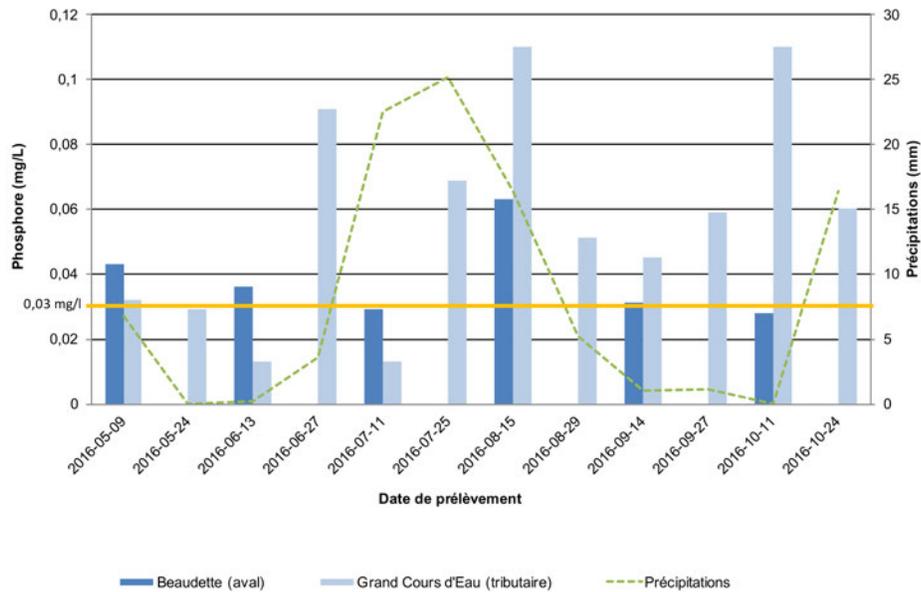


Figure 7. Résultats d'analyse en phosphore des échantillons d'eau de surface récoltés de mai à octobre 2016 dans deux sections de la rivière Beaudette. La quantité de pluie tombée dans le secteur d'étude au courant des 48 heures précédant l'échantillonnage est aussi représentée.

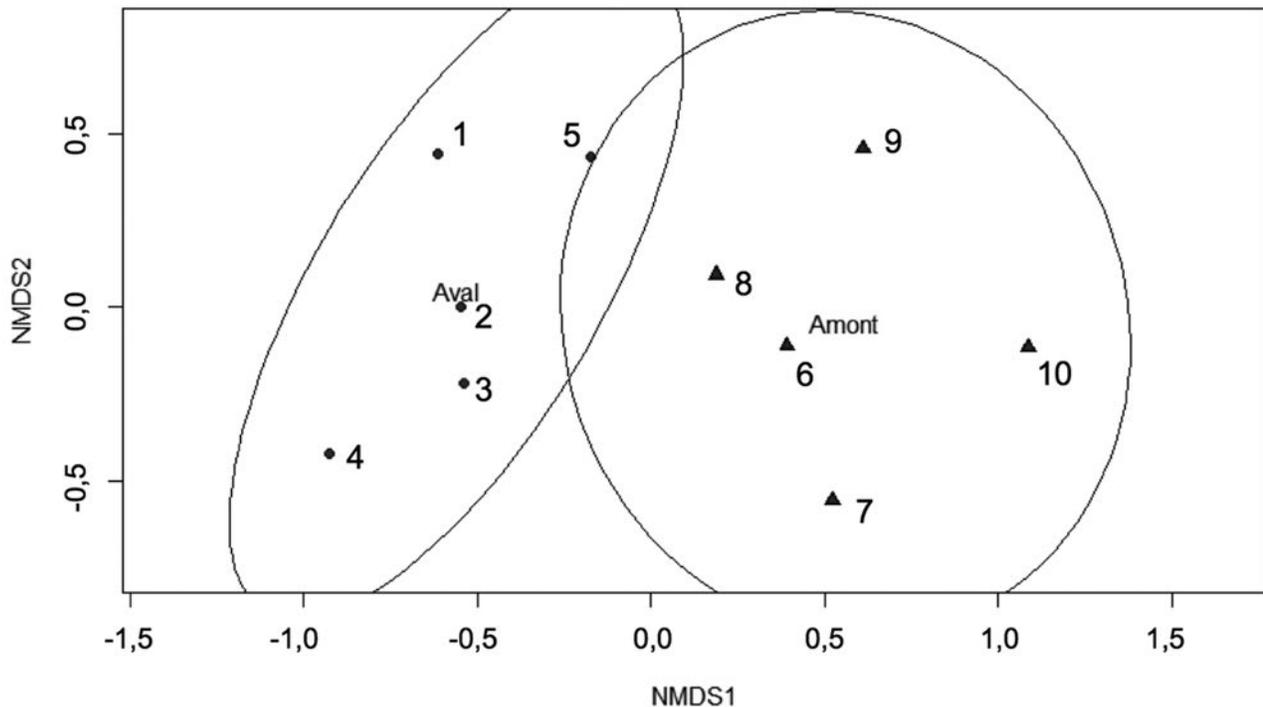


Figure 8. Relation entre les communautés de poissons aux 10 stations échantillonnées dans la rivière Beaudette (voir figure 1) au cours des années 2016 et 2017, sur la base du positionnement multidimensionnel (MDS) en 2 dimensions (axes NMDS et NMDS2) ($R^2 = 0,93$).

Tableau 3. Nombre d'individus à chaque station d'échantillonnage et tolérance à la pollution (La Violette et collab., 2003) de chaque espèce répertoriée. Les cellules en grisé indiquent les espèces qui contribuent le plus à différencier les communautés ichthyologiques au cours des années 2016 et 2017.

Nom latin	Nom français	Tolérance à la pollution	station 1	station 2	station 3	station 4	station 5	station 6	station 7	station 8	station 9	station 10	Nombre total répertorié
<i>Ambloplites rupestris</i>	Crapet de roche	Intermédiaire	2	14	33	40	6	31	1	5	6	2	140
<i>Catostomus commersonii</i>	Meunier noir	Tolérant	0	0	0	0	0	3	0	0	0	9	12
<i>Cyprinella spiloptera</i>	Méné bleu	Intermédiaire	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	3
<i>Esox lucius</i>	Grand brochet	Intermédiaire	0	2	0	3	0	3	1	0	0	0	9
<i>Etheostoma flabellare</i>	Dard barré	Intermédiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12
<i>Etheostoma nigrum</i>	Raseux-de-terre noir	Intermédiaire	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Etheostoma olmstedii</i>	Raseux-de-terre gris	Tolérant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Fundulus diaphanus</i>	Fondule barré	Tolérant	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	3
<i>Labidesthes sicculus</i>	Crayon-d'argent	Intermédiaire	40	24	2	0	64	0	0	0	0	0	130
<i>Lepisosteus osseus</i>	Lépisosté osseux	Intermédiaire	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Lepomis gibbosus</i>	Crapet soleil	Intermédiaire	18	14	9	7	5	0	21	3	0	0	77
<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	Indéterminé	1	29	146	18	0	7	0	0	0	0	201
<i>Luxilus cornutus</i>	Méné à nageoires rouges	Intermédiaire	0	0	0	0	0	60	20	43	5	143	269
<i>Micropterus dolomieu</i>	Achigan à petite bouche	Intermédiaire	2	0	0	0	1	5	1	1	0	8	80
<i>Micropterus salmoides</i>	Achigan à grande bouche	Tolérant	8	21	18	32	1	0	0	0	0	0	8
<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	Chevalier rouge	Intermédiaire	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Moxostoma valenciennesi</i>	Chevalier jaune	Sensible	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	13
<i>Neogobius melanostomus</i>	Gobie à taches noires	N/A	81	6	5	0	7	3	0	4	3	0	109
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	Méné jaune	Tolérant	0	31	12	0	17	126	0	15	0	0	186
<i>Notropis atherinoides</i>	Méné émeraude	Intermédiaire	0	0	0	0	0	87	0	0	0	0	85
<i>Notropis hudsonius</i>	Méné à tache noire	Intermédiaire	0	6	25	0	3	0	0	0	0	1	35
<i>Notropis volucellus</i>	Méné pâle	Intolérant	0	0	0	0	4	0	0	0	1	4	9
<i>Noturus gyrinus</i>	Chat-fou brun	N/A	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2
<i>Perca flavescens</i>	Perchaude	Intermédiaire	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3

Nom latin	Nom français	Tolérance à la pollution	station 1	station 2	station 3	station 4	station 5	station 6	station 7	station 8	station 9	station 10	Nombre total répertorié
<i>Percina caprodes</i>	Fouille-roche zébré	Intermédiaire	1	1	0	0	3	32	0	2	5	0	44
<i>Pimephales notatus</i>	Méné à museau arrondi	Tolérant	0	0	6	0	0	240	12	0	3	1	262
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	Marigane noire	Intermédiaire	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Rhinichthys cataractae</i>	Naseux des rapides	Intermédiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Sander vitreus</i>	Doré jaune	Intermédiaire	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Umbra limi</i>	Umbre de vase	Tolérant	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Tableau 4. Nombre d'individus capturés, richesse spécifique (nombre d'espèces), indice réciproque de diversité de Simpson et indice de diversité de Shannon pour chacune des stations d'échantillonnage dans la rivière Beaudette au cours des années 2016 et 2017. L'emplacement des stations est indiqué à la figure 1.

Station	Nombre d'individus capturés	Richesse spécifique	Indice réciproque de diversité de Simpson	Indice de diversité de Shannon
1	155	10	2,8	1,3
2	154	13	7,2	2,1
3	258	11	2,8	1,5
4	104	7	3,6	1,5
5	113	12	2,8	1,6
6	613	15	4,3	1,8
7	56	6	3,2	1,3
8	74	8	2,6	1,3
9	36	8	5,1	1,8
10	169	8	1,4	0,7

végétation y est souvent tondu pour des raisons d'esthétique. Certaines stations ayant un faible IQHP se trouvaient également en milieu agricole, où l'éradication des arbres et des arbustes le long des berges est une pratique courante. La qualité de l'eau est compromise par les charges de fertilisants, les pesticides et une augmentation des matières en suspension. Notons aussi que l'absence de couvert végétal en rive amplifie le réchauffement de l'eau. Les quelques stations ayant obtenu un indice « bon » ou « excellent » se trouvaient en milieu boisé et le plus souvent en amont. Ces stations sont généralement plus stables et moins sujettes à l'érosion des berges, et la qualité du substrat y est meilleure. Elles offrent aussi une plus grande diversité d'habitats et d'abris pour la faune. Nécessairement, l'abondance d'éléments ligneux et de secteurs de « rapides-fosses » le long des berges contribue aussi à hausser la valeur de l'IQHP.

Les bandes riveraines

Les bandes riveraines sont des zones tampons qui procurent plusieurs fonctions écologiques nécessaires à la bonne santé des cours d'eau. En plus d'améliorer la qualité

de l'eau par leurs fonctions filtrantes et thermorégulatrices, elles jouent un rôle prépondérant dans la conservation de la biodiversité en offrant des habitats naturels et en permettant la connectivité écologique entre différents éléments du paysage. Elles sont aussi efficaces pour diminuer la force de l'érosion (CCSE, 1997; Duchemin et collab., 2002; Gagnon et Gangbazo, 2007). Les bandes riveraines considérées comme aptes à remplir leurs rôles écologiques ne sont pas très présentes le long de la rivière Beaudette puisque 67 % d'entre elles ont obtenu un IQBR de valeur « faible » et « très faible ». L'état actuel des berges du bassin versant de la rivière Beaudette, c'est-à-dire l'absence de bandes riveraines naturelles, peut donc accroître les risques d'érosion, l'apport en contaminants et la perte d'habitats. Les berges que l'on considère de bonne qualité étaient surtout observées en zone boisée, bien que certains secteurs se situaient en zone agricole ou urbaine et étaient constitués d'une bande riveraine à plusieurs strates (herbacée, arbustive et arborescente) sur l'une des deux rives.

Les obstacles à l'écoulement de l'eau procurent des bénéfices écosystémiques. Les arbres tombés peuvent

représenter des habitats de choix pour la faune aquatique et seraient même bénéfiques pour l'écosystème : ils réduisent la turbidité de l'eau par le processus de sédimentation, de même que l'érosion, par le ralentissement de la vitesse du courant; ils augmentent aussi la richesse des cours d'eau par la formation de complexes « rapides-fosses » (Gurnell et collab., 1995). À l'occasion, ceux-ci peuvent cependant occasionner des problèmes environnementaux; lorsqu'il y a obstruction complète du cours d'eau, une forte érosion des berges, l'inondation des berges avoisinantes et le blocage du libre passage des poissons.

L'érosion peut être grandement accélérée par des actions anthropiques, telles que l'imperméabilisation du sol, la déforestation, certaines pratiques culturelles et l'étalement urbain. Elle entraîne une dégradation de la qualité de l'environnement et de la productivité des sols. Les cours d'eau en milieu agricole sont particulièrement propices à l'érosion, notamment en raison du pouvoir érosif de l'eau et de l'effet gravitaire. Le premier facteur peut augmenter si la vitesse de l'eau est intensifiée par une modification du drainage (par exemple, le redressement des cours d'eau). Le second peut être occasionné par un travail du sol et une culture effectuée trop près du talus, une pente trop abrupte du lit et de la machinerie lourde passant au bord des cours d'eau (AAC, 2008). L'érosion des sols agricoles peut aussi engendrer des conséquences économiques par la perte de sols arables. Trente pour cent (30%) des terres arables du bassin versant de la rivière Boyer subissent une perte annuelle d'au moins 6 tonnes par hectare (Mabit et collab., 2007). Les sols les plus fertiles sont les plus vulnérables à l'érosion, car ils sont composés de matière organique et de substances limoneuses fines (AAC, 2014). Par ailleurs, les sédiments provenant de l'érosion hydrique augmentent la turbidité dans les cours d'eau et comblent le lit de la rivière, ce qui réduit le volume des cours d'eau. De plus, la sédimentation peut colmater les frayères et ainsi diminuer le potentiel du site pour la fraie des poissons. Elle peut aussi diminuer la qualité de l'habitat du poisson en réduisant les sources de nourriture et la quantité d'oxygène dissous (Hotte et Quirion, 2003). Les éléments nutritifs et les pesticides liés aux particules de sol érodé peuvent nuire à la qualité de l'eau et aux organismes vivants (Amyot, 2016).

Qualité des eaux

Les particules fines en suspension dans l'eau peuvent être d'origine naturelle (précipitations) ou produites par les rejets urbains, industriels ou agricoles. Les sédiments empêchent une bonne pénétration de la lumière (réduction de la photosynthèse) et colmatent les branchies des poissons. Les MES présentes dans la rivière Beaudette semblent provenir de sources diffuses. La superficie des bassins versants en amont de la station du tributaire Grand Cours d'Eau est couverte principalement de terres agricoles. L'agriculture intensive et l'absence de bandes riveraines dans ce secteur génèrent plus d'apports en sédiments par les eaux de ruissellement que l'agriculture pérenne avec des bandes riveraines larges. Ce

phénomène est accentué lors de fortes pluies. L'érodabilité du sol augmente s'il n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal ou par les résidus de culture, ce qui augmente l'apport en MES dans le cours d'eau (Simard, 2004). La caractérisation des berges effectuée dans le cadre de cette étude montre qu'effectivement, elles comptent peu de bandes riveraines, ce qui augmente le risque d'érosion et de rehaussement du lit des cours d'eau par accumulation de sédiments. La diminution des MES en aval peut être due au fait que la rivière traverse un milieu résidentiel où les tributaires amènent une eau de meilleure qualité en ce qui concerne les MES. Juste en aval de la station 5, une section de rapides de 250 m et plusieurs marécages sont présents autour de la municipalité de Rivière-Beaudette. Les rapides créent probablement un bassin de sédimentation en amont, et les marécages retiennent une partie des sédiments.

Comme les fortes concentrations de phosphore ne semblent pas toujours suivre les épisodes de pluie (figure 7), on peut croire que les sources de cet élément sont diverses, diffuses (par exemple, les eaux de ruissellement) et ponctuelles (par exemple, un rejet d'eaux usées, ou des fosses septiques non conformes). Selon des études québécoises portant sur la mobilité du phosphore en bassin versant agricole, le ruissellement serait l'un des principaux vecteurs de transport du phosphore (IRDA, 2008). Plusieurs facteurs en milieu agricole peuvent influencer le ruissellement et ainsi le transport du phosphore : l'intensité des précipitations, la rugosité de la surface du champ, la capacité d'infiltration du sol et la profondeur de la nappe d'eau dans le sol. D'ailleurs, les terres composées de limon sont plus sujettes à l'érosion par l'eau qui s'accompagne du ruissellement de substances dissoutes telles que le phosphore (Jamieson et collab., 2003; Hilliard et Reedyk, 2014). Les fortes concentrations observées en temps sec proviennent de sources ponctuelles d'origine industrielle et urbaine. Ainsi, les points de surverse du système d'égout sanitaire situés en amont de la municipalité peuvent fournir un apport en phosphore. Des installations septiques non conformes aux règlements, c'est-à-dire défectueuses, mal entretenues ou mal utilisées, peuvent occasionner un traitement beaucoup moins efficace des eaux usées et générer des apports importants en phosphore dans l'environnement. Aucun programme de conformité des fosses septiques n'a été mis en place dans les municipalités concernées dans le cadre de ce projet (comm. pers. Inspecteur en environnement et urbanisme, municipalités de Saint-Télesphore et de Rivière-Beaudette).

Faune ichthyenne

La richesse en espèces de poisson de la rivière Beaudette est comparable à celle de la rivière Rigaud dans la région, où l'on trouve aussi plusieurs sanctuaires de pêche (Tremblay et collab., 1984). Il est important de mentionner que la diversité n'augmentait pas de l'amont vers l'aval, contrairement à ce qui a été rapporté dans d'autres études en Illinois, à New York et en Pennsylvanie (p. ex., Larimore et collab., 1952; Sheldon, 1968; Brighthill et Bilger, 1998), même si les conditions physicochimiques (MES, P, nitrite-nitrate) en aval semblent

meilleures. La diversité en espèces de poissons semble particulièrement influencée par les conditions locales d'IQBR et d'IQHP. La station 2 comportait des berges ayant obtenu un IQBR qualifié de « bon ». D'ailleurs, à cet endroit, le cours d'eau bénéficiait de larges bandes riveraines composées de 3 strates de végétation (herbacée, arbustive et arborescente) et n'avait aucune marque d'érosion apparente. Les stations 9 et 6, situées complètement en amont de la rivière, en milieu agricole, montraient une valeur plus élevée d'IQHP et un IQBR qualifié de « bon ». Les autres stations ayant obtenu un IQBR de « faible » à « très faible » ont montré des indices de dominance et de diversité plus faibles. La station 10, située à la limite de l'Ontario, détient les plus faibles indices; une collaboration plus étroite avec les autorités responsables en Ontario pour mener des actions dans le futur serait d'une grande utilité. Nos résultats indiquent que les sections en aval et en amont de la rivière Beaudette supportent des communautés de poissons différentes bien qu'étant surtout composées d'espèces dites généralistes, c'est-à-dire pouvant supporter diverses conditions. Trois espèces écologiquement liées se trouvent dans la section située en aval : l'achigan à grande bouche, qui se nourrit du crayon-d'argent, et le méné jaune, qui pond ses œufs dans les nids de l'achigan. En amont, le méné à museau arrondi (noté en abondance à la station 6) supporte des conditions de bonne qualité d'eau, étant surtout abondant dans les cours d'eau de taille moyenne à eau claire et lente (Tremblay et Picard, 2013). La dégradation et la perte d'habitat affectent particulièrement les espèces plus spécialisées ou sensibles de la rivière Beaudette. Par exemple, les habitats de cette dernière auraient déjà été propices aux ménés d'herbe; une mention datant de 1946 apparaît au Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec [CDPNQ]). Cette espèce, intimement liée aux herbiers aquatiques, n'a pas été trouvée lors de nos inventaires, car elle disparaît s'il y a diminution de la qualité de l'eau ou dégradation de la végétation aquatique ou riveraine (MPO, 2016). La restauration des habitats et une meilleure connectivité avec le lac Saint-François pourraient favoriser une plus grande diversité d'espèces.

De façon générale, l'eau fraîche et oxygénée comportant peu de matières en suspension est bénéfique pour les poissons (Biron, 2017). En milieu aquatique, l'oxygène dissous est un élément essentiel pour les organismes vivants. La température de l'eau influence la capacité de dissolution de l'oxygène, et ce gaz peut être absorbé par la respiration des animaux, des plantes pendant la nuit ou des bactéries associées au processus de décomposition de la matière organique. La respiration bactérienne est particulièrement dommageable lorsqu'il y a une abondance de matière organique nourrie par l'apport excessif de nutriments. Les espèces aquatiques bénéficient aussi d'une certaine sinuosité du cours d'eau qui se traduit par une plus grande quantité et diversité d'abris et d'habitats (p. ex. : Le Pichon et collab., 2007; Wolters et collab., 2018). Afin de maintenir et de favoriser une plus grande complexité de la vie aquatique, plusieurs actions peuvent être posées à même les cours d'eau ou à proximité de ceux-ci. Ainsi, la plantation d'arbres en bordure des cours d'eau amène de l'ombre qui

diminuera la température de l'eau. La stabilisation des rives du cours d'eau à l'aide de techniques de restauration écologique (ensemencement et plantation d'arbustes), de génie végétal (fagots, fascines et matelas de branches) ou de techniques mécaniques (enrochement) permet de retenir les sédiments et les contaminants (MDDEP, 2011). Maintenir ou rétablir la forme naturelle du cours d'eau, soit le patron des méandres, permet de réduire l'effet des crues printanières et donc, l'érosion des rives (Belleau-Arsenault, 2014). Les cultures intercalaires ou de couverture permettent de réduire les pertes d'azote, de phosphore et de pesticides au plan d'eau, en plus d'améliorer l'aération, l'infiltration et la rétention en eau utile (Lamarre, 2015). La mise aux normes des installations septiques âgées et désuètes, encouragée par des incitatifs financiers gérés par les municipalités, réduirait la contamination des cours d'eau.

Interventions en bandes riveraines

Puisque le projet avait comme but d'améliorer la qualité des cours d'eau du bassin versant, quelques actions concrètes ont été complétées. L'IQBR a permis de cibler les propriétés dont la bande riveraine comporte des problèmes marquants. Une lettre présentant le projet et les actions à venir a été remise en juin 2017 à 221 riverains. Elle relatait que le COBAVER-VS s'engageait à offrir gratuitement une caractérisation de la bande riveraine des propriétés et à réaliser un schéma d'aménagement propre à leur situation. À la suite de la promotion du projet, 23 riverains se sont montrés intéressés au plan d'aménagement de la bande riveraine, ils ont donc obtenu un relevé du terrain et un diagnostic personnalisé comportant les éléments positifs et négatifs ainsi que des recommandations. Ce plan d'aménagement était basé sur l'analyse du modèle naturel et des spécificités du milieu. Par la suite, une enveloppe promotionnelle pour la bande riveraine a été remise aux riverains : celle-ci contenait un dépliant du COBAVER-VS; une carte postale présentant la rivière Beaudette; un guide « Les avantages de la bande riveraine »; un guide « Le poisson dans tous ses habitats. L'habitat du poisson : mieux le connaître pour mieux le préserver »; une affichette « Bande riveraine au travail »; le rapport « Le bassin versant de la rivière Beaudette. Mieux la connaître pour mieux la protéger »; le diagnostic de la bande riveraine; le plan d'aménagement de la bande riveraine et les recommandations de végétaux. Des végétaux gratuits ont même été distribués aux riverains à l'automne 2017. Des aménagements de bandes riveraines en milieu agricole seront aussi faits dans les années futures, en collaboration avec le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Un agriculteur a déjà manifesté son intérêt pour l'aménagement d'une bande riveraine élargie.

Conclusion

Ce projet a permis d'acquérir des connaissances essentielles pour définir les problématiques associées à l'habitat de la faune aquatique dans le bassin versant de la rivière Beaudette. Les données recueillies seront utilisées afin d'orienter les interventions pour améliorer la situation. Il s'avère que l'IQHP et l'IQBR ont obtenu une cote « faible » à « très faible »

sur plus de 67 % de la rivière. L'inventaire ichtyologique a démontré que la rivière Beaudette présente une grande richesse spécifique dans ses sections où la bande riveraine est de meilleure qualité et où la valeur de l'IQHP est plus élevée. L'agriculture en amont affecte l'équilibre de façon diffuse par le ruissellement, tandis que l'urbanisation exerce principalement son impact en aval, quoique de façon ponctuelle.

Des interventions ont consisté à sensibiliser les riverains et à élaborer des plans d'aménagements de bandes riveraines qui permettront de minimiser l'érosion hydrique et de stabiliser les berges. D'autres pistes de solutions à mettre en application dans le futur sont de mieux utiliser la bande riveraine afin de remettre en état certaines autres sections, de mieux gérer les eaux résiduelles des municipalités, de moderniser les fosses septiques non conformes et d'utiliser des cultures intercalaires et de couverture.

Il sera crucial d'intégrer les résultats de cette étude dans le plan directeur de l'eau de la région de Vaudreuil-Soulanges pour que des actions précises soient appliquées à long terme dans la gestion intégrée de l'eau par bassin versant dans la région. Des études supplémentaires démontrant statistiquement l'effet des variables environnementales et l'effet des interventions de restauration pourront permettre de cibler plus efficacement les actions prioritaires à entreprendre.

Remerciements

Nous remercions tous les organismes et intervenants rencontrés dans le cadre de ce projet, particulièrement : le Réseau Agriconseils Montérégie-Ouest; la municipalité de Rivière-Beaudette; Ricardo Manzano du Club Nova-Terre; la MRC de Vaudreuil-Soulanges; le MFFP; le MAPAQ Montérégie-Ouest; le Comité ZIP du Haut-Saint-Laurent; David Girardville du Club Agroenvironnemental du Suroît; Brendan Jacobs du *Raisin Region Conservation Authority*; Matthew Windle et Elizabeth Ann Hickey du *St. Lawrence River Institute*; Félix Blackburn de la Société de conservation et d'aménagement des bassins versants de la Zone Châteauguay. Nous remercions aussi nos stagiaires pour leur précieuse aide lors de l'échantillonnage : Andréanne Hains (B. Sc., Université de Sherbrooke, été 2016), Ariane Cyr (M. Sc., Université de Sherbrooke, été 2017) et Alexandre Clizioier (Diplôme universitaire et technologique en génie biologie option agronomie, Institut universitaire et technologique d'Avignon, France, été 2017). Une aide financière pour la réalisation de ce projet a été accordée par le gouvernement du Canada dans le cadre du programme de l'intendance de l'habitat pour les espèces en péril. ◀

Références

- [AAC] AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA, 2008. Gestion des sols. Disponible en ligne à : <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-et-terre/gestion-des-sols/?id=1370346218601>. [Visité le 2016-02-02].
- [AAC] AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA, 2014. Conséquence de l'érosion. Disponible en ligne à : <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-et-terre/gestion-des-sols/consequences-de-l-erosion/?id=1187283440379>. [Visité le 2016-02-02].
- AMYOT, F., 2016. Sedimentation in the St-Zotique Canals: Sources, causes, and potential management solutions. GEOG 491 : Thèse de spécialisation, Université Concordia, Montréal, 50 p.
- BELLEAU-ARSENAULT, V. et M. ROBERT, 2014. La notion d'espace de liberté des cours d'eau. Revue de littérature, Université du Québec à Rimouski. Disponible en ligne à : http://aruc.robvq.qc.ca/public/documents/rapports/index/aruc_espace_liberte_cours_eau_vf2.pdf. [Visité le 2016-03-15].
- BIRON, P.M., 2017. La restauration de l'habitat du poisson en rivière : une recension des écrits. Rapport scientifique présenté à la Fondation de la Faune du Québec. Disponible en ligne à : <https://robvq.qc.ca/public/documents/bibliotheque/uploaded/tq0imwj6.pdf>. [Visité le 2016-08-01].
- BRIGHTHILL, R.A. et M.D. BILGER, 1998. Fish-community composition in Cowanesque River upstream and downstream of the Cowanesque Dam, Tioga County, Pennsylvania, 1998. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Open-file report 99-208.
- [CIC et MDDELCC] CANARDS ILLIMITÉS CANADA et MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2010. Carte interactive des milieux humides du territoire de la CMM. Disponible en ligne à : <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=e53987f046964a65bc8daeb9ef257b20>. [Visité le 2016-01-15].
- [CCSE] CENTRE DE CONSERVATION DES SOLS ET DE L'EAU DE L'EST DU CANADA, 1997. Les bandes riveraines et la qualité de l'eau : une revue de la littérature. Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada. Disponible en ligne à : <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/bandes.pdf>. [Visité le 2016-08-01].
- CLARKE, K.R., 1993. Nonparametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18 : 117-143.
- [COBAVER-VS] CONSEIL DU BASSIN VERSANT DE LA RÉGION DE VAUDREUIL-SOULANGES, 2016. Portrait du territoire de gestion intégrée de l'eau par bassin versant de la région de Vaudreuil-Soulanges. Disponible en ligne à : http://www.cobaver-vs.org/plan_directeur_de_l_eau/. [Visité le 2016-01-15].
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2017. Espèces sauvages canadiennes en péril. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Disponible en ligne à : http://www.registrelep.gc.ca/sar/assessment/wildlife_species_assessed_f.cfm. [Visité le 2017-11-30].
- DUBÉ, J. et S. GARCEAU, 2009. Protection de la faune ichtyenne des cours d'eau en milieu agricole. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Disponible en ligne à : <http://agrcq.ca/wp-content/uploads/2013/01/Protection-de-la-faune-ichtyenne-des-petits-cours-deau-agricoles-v20130114.pdf>. [Visité le 2016-08-15].
- DUCHEMIN, M., P. LAFRANCE et C. BERNARD, 2002. Les bandes enherbées : une pratique de conservation efficace pour réduire la pollution diffuse. Disponible en ligne à : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/Bio91.PDF>. [Visité le 2016-08-15].
- [ESRI] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2011. ArcGIS Desktop : Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- FINANCIÈRE AGRICOLE DU QUÉBEC, 2012. Base de données des cultures assurées (BDCA), données géomatiques, Québec.
- GAGNON, E. et G. GANGBAZO, 2007. Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspective. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/fiches/bandes-riv.pdf>. [Visité le 2016-01-15].
- GURNELL, A.M., K.J. GREGORY et G.E. PETTS, 1995. The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: Implications for management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 5 : 143-166.
- HÉBERT, S. et M. OUELLET, 2005. Le Réseau-rivières ou le suivi de la qualité de l'eau des rivières du Québec, Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 2-550-45831-1 (PDF), Environdoq no ENV/2005/0263, collection no QE/169, 9 p.

- HILLIARD, C. et S. REEDYK, 2014. Texture du sol et qualité de l'eau. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Disponible en ligne à : <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-et-terre/le-sol-et-l-eau/texture-du-sol-et-qualite-de-l-eau/?id=1197483793077>. [Visité le 2016-01-15].
- HOTTE, M. et M. QUIRION, 2003. Guide technique n° 15. Traverses de cours d'eau. Fondation de la faune du Québec et Fédération des producteurs de bois du Québec, Sainte-Foy, 32 p.
- [IRDA] INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGRICULTURE, 2008. Le transport du phosphore. Disponible en ligne à : <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/EVC020.pdf>. [Visité le 2016-01-15].
- JAMIESON, A., C. MADRAMOOTO et P. ENRIGHT, 2003. Phosphorous losses in surface and subsurface runoff from a snowmelt event on an agricultural field in Quebec. *Canadian Biosystems Engineering*, 45 : 1.1-1.7.
- LALJOIE, P. S. et P. STOBBE, 1951. Étude des sols des comtés de Soulanges et de Vaudreuil dans la province de Québec. Ministère fédéral de l'Agriculture, Ottawa, 72 p.
- LAMARRE, G., 2015. Nouveaux développements dans les cultures intercalaires et cultures de couverture. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Disponible en ligne à : <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/culturesintercalairesetculturesdecouverture.aspx> [Visité le 2018-03-15].
- LARIMORE, R.W., Q.H. PICKERING et L. DURHAM, 1952. An inventory of the fishes of Jordan Creek, Vermillion County, Illinois. *Illinois Natural History Survey, Biological Notes*, 29 : 1-29.
- LA VIOLETTE, N., D. FOURNIER, P. DUMONT et Y. MAILHOT, 2003. Caractérisation des communautés de poissons et développement d'un indice d'intégrité biotique pour le fleuve Saint-Laurent, 1995-1997. *Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune*, 237 p.
- LEGENDRE, P. et E.D. GALLAGHER, 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129 : 271-280.
- LE PICHON, C., G. GORGES, J. BAUDRY, H. BOUSSARD, F. GOREAUD, T. FAURE et P. BOËT, 2007. Méthodes et outils d'analyse spatiale des habitats des poissons en contexte fluvial anthropisé. *Ingénieries - EAT, IRSTEA* édition, p. 21-33.
- MABIT, L., C. BERNARD et M.R. LAVERDIÈRE, 2007. Étude de la dégradation des sols par l'érosion hydrique à l'échelle des bassins versants en utilisant la méthode du ¹³⁷Cs. *Agrosolution*, 18 : 13-16.
- [MAMOT] MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE, 2012. Ouvrages de surverse et stations d'épuration : Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2012. Disponible en ligne à : https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/ministere/acces_information/Diffusion_information/2017-122_rapport_ouvrage_municipaux_assainissement_eau_partie_4.pdf. [Visité le 2017-12-01].
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 1999. L'acidité des eaux au Québec. Disponible en ligne à : www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/pre_acid/brochure/capsule.htm. [Visité le 2016-01-15].
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2013. Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/reglement2013.htm>. [Visité le 2016-01-15].
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2017. Critères de qualité de l'eau de surface. Disponible en ligne à : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp. [Visité le 2017-12-01].
- [MDDEP] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, 2011. Fiche technique sur la stabilisation des rives. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/fiche-tech-stabilisation-rives.pdf>. [Visité le 2018-03-15].
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2018. Le gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*). Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/gobie-taches-noires/>. [Visité le 2018-06-26].
- MORRIS, E. K., T. CARUSO, F. BUSCOT, M. FISHER, C. HANCOCK, T.S. MAIER, C. MÜLLER, E. OBERMAIER, D. PRATI, S.A. SOCHER, I. SONNEMANN, N. WÄSCHKE, T. WUBET, S. WURST et M.C. RILLIG, 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German biodiversity exploratories. *Ecology and Evolution*, 4 : 3514-3524.
- [MPO] PÊCHES ET OCÉANS CANADA, 2016. Méné d'herbe *Notropis bifrenatus*. Disponible en ligne à : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profil/bridleshiner-meneherbe-fra.html>. [Visité le 2018-06-26].
- MRC DE VAUDREUIL-SOULANGES, 2004. Les territoires d'intérêt historique, culturel et écologique. Chapitre 11 dans : Schéma d'aménagement révisé - MRC de Vaudreuil-Soulanges. Disponible en ligne à : http://www.mrcvs.ca/sites/default/files/documents/schema-amenagement/Chap_11/Pages%20de%20Schema%20d'amenagement%20revisé%20refondu%20-%20Chapitre%202011.pdf. [Visité le 2016-01-15].
- MRC DE VAUDREUIL-SOULANGES, 2016. Image Géoboutique : JMAP.
- R CORE TEAM, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en ligne à : <https://www.R-project.org/>. [Visité le 2016-11-01].
- RANKIN, E.T., 1989. The qualitative habitat evaluation index [QHEI]: rationale, methods and application. Division of Water Quality Planning & Assessment, Ecological Assessment Section, Columbus, Ohio, 73 p.
- RANKIN, E.T., 1995. The use of habitat assessments in water resource management programs. Dans : Davis W. et T. Simon (édit.). *Biological assessment and criteria: Tools for water resource planning and decision making*. Lewis Publishers, Boca Raton, Floride, p. 181-208.
- ROY, M. et P.-M. GODBOUT, 2014. Cartographie des formations superficielles de la région de Vaudreuil-Soulanges, sud-ouest du Québec. Rapport présenté au ministère des Ressources naturelles du Québec, Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada, 25 p.
- SHANNON, C.E. et W. WEAVER, 1948. The mathematical theory for communication. *The Bell System Technical Journal*, 27 : 379-423 et 623-656.
- SHELDON, A.L., 1968. Species diversity and longitudinal succession in stream fishes. *Ecology*, 49 : 193-198.
- SIMARD, A., 2004. Portrait global de la qualité de l'eau des principales rivières du Québec. Disponible en ligne à : www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/global-2004/index.htm. [Visité le 2016-01-15].
- STATISTIQUE CANADA, 2016. Profil du recensement, Recensement de 2016. Disponible en ligne à : <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F>. [Visité le 2017-12-01].
- ST-JACQUES, N. et Y. RICHARD, 1998. Développement d'un indice de qualité de la bande riveraine : application à la rivière Chaudière et mise en relation avec l'intégrité biotique du milieu aquatique. Dans : Ministère de l'Environnement et de la Faune (édit.). *Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique - 1996*, Direction des Écosystèmes aquatiques, Québec, Environnement n° EN980022, p. 6.6.1 à 6.41.
- TREMBLAY, C., F. MEUNIER, G. DEZIEL, A. MICHAUD et F. POIRIER, 1984. Étude écologique de la rivière Rigaud. Rapport technique, 246 p.
- WOLTER, J.-W., R. C.M. VERDONSCHOT, J. SCHOELYNCK, P.F.M. VERDONSCHOT et P. MEIRE, 2018. The role of macrophyte structural complexity and water flow velocity in determining the epiphytic macroinvertebrate community composition in a lowland stream. *Hydrobiologia*, 806 : 157-173.

Conservation du ciel nocturne : surveillance de l'éclairage extérieur et de la pollution lumineuse au parc national et à la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic

Rémi Boucher, Sarah Knefati et Camille-Antoine Ouimet

Résumé

Pourtant d'apparence immuable, le ciel étoilé est aujourd'hui menacé de disparition. La cause est la croissance généralisée de la pollution lumineuse, résultat de l'utilisation de dispositifs d'éclairage inadéquats. Nous présentons ici les résultats de la mesure de cette pollution obtenue par différentes approches méthodologiques sur le territoire de la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic (RICEMM). La RICEMM a été créée en 2007 afin de protéger la qualité des observations astronomiques et de recherche de l'observatoire du mont Mégantic, ainsi que pour conserver les paysages étoilés exceptionnels du site. Deux aspects incontournables de la lumière artificielle nocturne ont été pris en compte : ses sources, ainsi que sa diffusion dans l'atmosphère. Les analyses démontrent que le niveau de pollution lumineuse est resté stable depuis 10 ans dans la RICEMM, tant au zénith que pour l'ensemble du ciel, et ce, malgré une tendance mondiale à la hausse des niveaux d'éclairage, l'augmentation de la population dans la périphérie du parc national du Mont-Mégantic et l'arrivée sur le marché de types de luminaires problématiques.

MOTS CLÉS : ciel étoilé, dispositifs d'éclairage, mont Mégantic, paysages nocturnes, pollution lumineuse

Abstract

Although seemingly unchanging, today, our ability to see stars on a dark night is in danger of disappearing. The reason for this is the widespread growth of light pollution from inadequate lighting systems. This study, which used a range of methods, presents the results of light pollution measurements taken within the Mont-Mégantic International Dark Sky Reserve (MMIDSR), which was created in 2007 to protect the quality of astronomical observations and research at the Mont-Mégantic Observatory, and to preserve the exceptional starry nightscape visible from the site. Two essential elements of artificial night lighting were considered: its source and its diffusion in the atmosphere. Analyses showed that despite a global trend towards an increase in light levels, population growth on the outskirts of the Parc national du Mont-Mégantic, and the arrival of problematic types of lighting fixtures on the market, the level of light pollution in the MMIDSR has remained stable over the last 10 years, not only at the zenith but across the entire sky.

KEYWORDS: light pollution, lighting devices, Mont Mégantic, nightscape, starry night sky

Introduction

Jusqu'au 19^e siècle, l'éclairage nocturne n'était assuré que par la pleine lune, des torches et de modestes lanternes. L'avènement du gaz, puis celui de l'électricité, ont favorisé l'éclairage nocturne permanent d'où a émergé peu à peu la pollution lumineuse. La pollution lumineuse désigne toute modification de l'environnement lumineux nocturne naturel et toute nuisance provoquée par la lumière artificielle (International Dark-Sky Association, 2018a). Pourtant d'apparence immuable, le ciel étoilé est aujourd'hui menacé de disparition. Un grand nombre de personnes vivent au cœur des villes sans jamais avoir vu la beauté de la Voie lactée ou le scintillement de milliers d'étoiles sans lune. Il est estimé qu'actuellement 83 % de la population mondiale vit sous un ciel affecté par la pollution lumineuse (Falchi et collab., 2016). À Hong Kong, les niveaux d'éclairage dépassent de plus de 80 fois celui d'un ciel nocturne naturel (Chun et collab., 2014). L'arrivée sur le marché des diodes électroluminescentes (DELs)

constitue une préoccupation supplémentaire. Ces dernières peuvent dans certains cas (modèles dont la distribution spectrale induit une plus grande diffusion de la lumière dans le ciel nocturne) constituer une sérieuse menace à la protection du ciel étoilé (Jin et collab., 2015).

En plus du voilement des étoiles, les conséquences de la pollution lumineuse sont nombreuses : impacts sur la faune et la flore, perturbations des cycles circadiens et effets sur la santé, problèmes de sécurité, gaspillage de l'énergie, dévalorisation

Rémi Boucher est biologiste au parc national du Mont-Mégantic et à la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic.

Sarah Knefati est détentrice d'une maîtrise en génie de l'environnement.

Camille-Antoine Ouimet (M. Env.) est responsable du service de la conservation du parc national du Mont-Mégantic.

ouimet.camilleantoine@sepaq.com

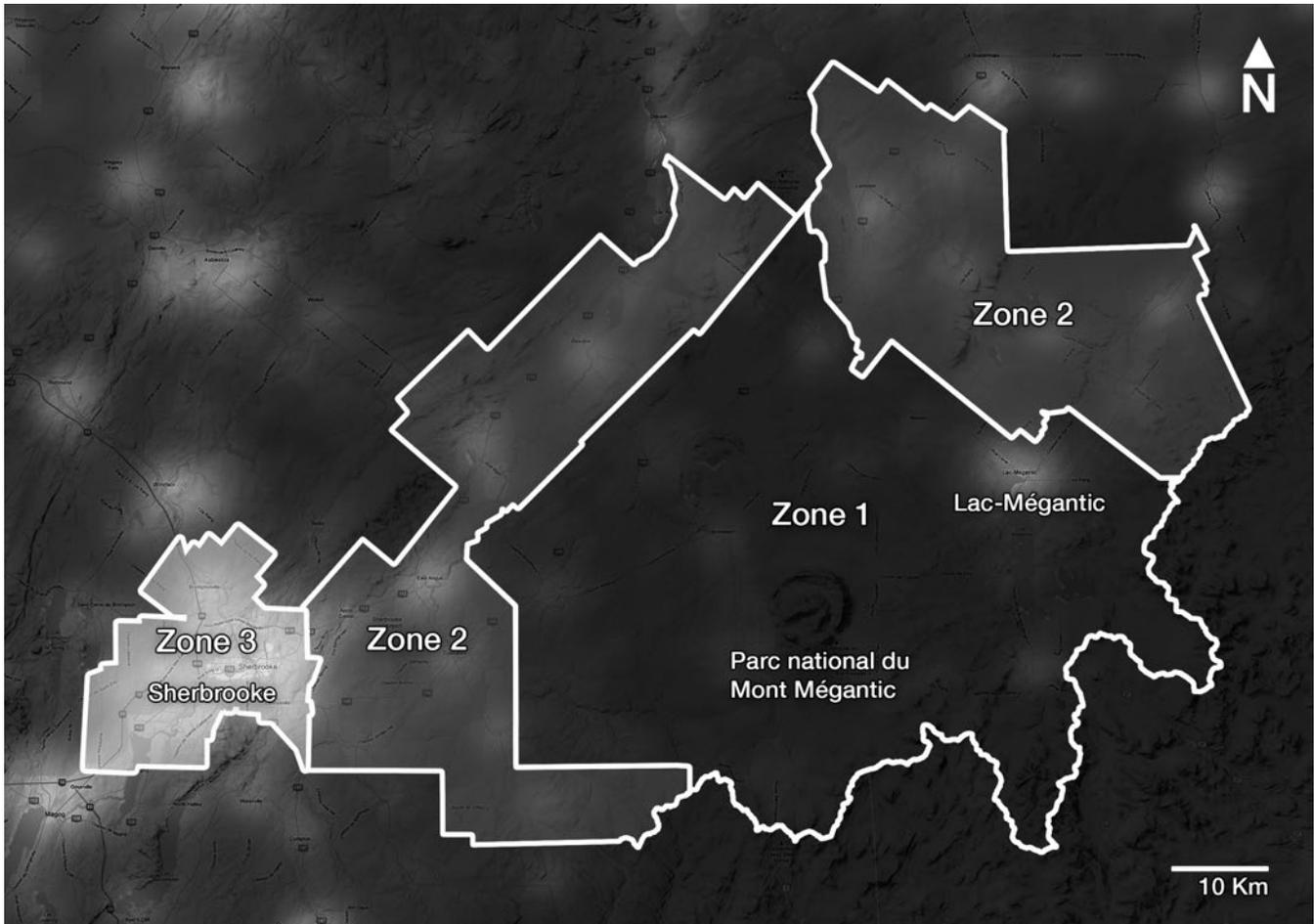


Figure 1: Carte de la Réserve de ciel étoilé du Mont-Mégantic et de ses trois zones.

du patrimoine bâti (American Medical Association, 2016; Aubé et collab., 2013; Bruce-White et Shradlow, 2011; Hölker et collab., 2010; Robert et collab., 2015; Sibley, 2008). Ce phénomène est en croissance. Une étude récente a calculé que de 2012 à 2016, la pollution lumineuse a augmenté en moyenne de 2,2 % dans les endroits éclairés artificiellement (Kyba et collab., 2017), et rien n'indique une stabilisation de la situation à court ou moyen terme.

Afin de contrer ce phénomène et de protéger la qualité des observations astronomiques au mont Mégantic, la première Réserve internationale de ciel étoilé (RICEMM) au monde y a été créée en 2007, en partenariat avec 35 municipalités, 2 municipalités régionales de comté (MRC) et la ville de Sherbrooke (Labrecque, 2018; figure 1). La pérennisation de l'Observatoire de recherche du Mont-Mégantic a été une préoccupation centrale dans la démarche; cependant, le mandat de la RICEMM s'est rapidement transformé pour inclure la question de la protection des paysages nocturnes. En effet, il n'y a pas que l'astronomie qui ait besoin de nuit: depuis des millions d'années, l'alternance de la lumière et de l'obscurité rythme le développement du vivant. Ce n'est donc pas une surprise si un nombre grandissant d'études

dénotent aujourd'hui des conséquences significatives reliées à la fragmentation des environnements nocturnes (Granier, 2012; Longcore et Rich, 2017; Lyytimäki, 2013). Désignée comme la « zone cœur » de la RICEMM, le parc national du Mont-Mégantic est un endroit tout indiqué pour de nombreux projets d'études et de mesures concernant le ciel nocturne. À l'instar de plusieurs parcs nationaux américains qui ont vu la mise en place d'initiatives de protection du ciel étoilé, il est clair aujourd'hui que ce patrimoine culturel et naturel est un enjeu de conservation incontournable pour les aires protégées (Exmoor National Park, 2018; Longcore et Rich, 2017; National Park Service, 2018a; Parcs Canada, 2017; Parc national des Pyrénées, 2018).

Les répercussions de la pollution lumineuse sur la conservation du ciel nocturne ainsi que sur la faune et la flore étant maintenant reconnues (Cabrera-Cruz et collab., 2018; International Dark-Sky Association, 2018b; Schroer et Holker, 2016), il apparaît prioritaire pour la pérennité de la RICEMM de bien mesurer l'état de la qualité du ciel nocturne ainsi que son évolution. C'est donc dans ce contexte qu'ont été lancés en 2017, à l'occasion du 10^e anniversaire de la RICEMM, des travaux plus poussés de mesures et de recherche.

Objectifs

Plusieurs objectifs ont été visés lors de ces travaux :

- mesurer la pollution lumineuse par différentes approches et instruments complémentaires et non par une seule méthode;
- vérifier si la pollution lumineuse a augmenté, diminué ou est restée stable de 2007 à 2017, c'est-à-dire au cours des 10 premières années d'existence de la RICEMM;
- évaluer si une différence est présente entre la mesure de la pollution lumineuse au zénith du mont Mégantic et celle pour l'ensemble du ciel visible de cet endroit;
- dix ans après la première phase de conversion d'éclairage, quantifier la proportion de sources de pollution lumineuse (luminaires routiers encore non conformes) dans les zones 1 et 2 (figure 1).

Il est important de noter que l'objectif du présent article n'est pas de faire le tour de la question (voir Hänel et collab., 2017 pour une revue détaillée des différentes mesures de la pollution lumineuse), mais bien de présenter les principaux résultats obtenus en 2017 au mont Mégantic.

Matériel et méthodes

La mesure de la pollution lumineuse est une science récente qui verra probablement encore des développements dans les prochaines années. Mentionnons, par exemple, l'acquisition de données par des satellites comme le « *Visible Infrared Imaging Radiometer* » (VIIRS), comme une méthode possible de mesure (Levin et Zhang, 2017).

Contexte méthodologique

La pollution lumineuse est facilement observable au-dessus des villes, où d'importants dômes lumineux sont créés. Un second exemple notoire concerne l'illumination du ciel nocturne au-dessus des stations de ski alpin lorsqu'elles sont ouvertes en soirée. La prise de données dans le cas de la pollution lumineuse diffuse est réalisée directement vers le ciel. Les données recueillies peuvent par la suite être comparées avec ce qui constitue un ciel nocturne « naturel », c'est-à-dire exempt de lumière artificielle. Le nombre d'étoiles visibles ou d'autres systèmes de classification, comme l'échelle de Bortle, sont aussi utilisés pour quantifier le phénomène (Bortle, 2006).

La mesure de l'illumination artificielle du ciel nocturne présente d'importants défis. L'influence humaine doit être départagée des sources naturelles de luminosité comme la Lune, la Voie lactée, la lumière zodiacale (voir NASA, 2007) ou même la luminescence nocturne en haute atmosphère (Oliva et Origlia, 1992). De plus, la présence d'humidité et de nuages va considérablement faire varier les données de brillance du ciel. Quant à la pollution atmosphérique, il s'agit d'un facteur très difficile à isoler; les données du réseau de surveillance AERONET de la NASA peuvent être utilisées lorsqu'une station est à proximité (U.S. Department of Energy, 2017).

Pour faire le suivi de la situation sur le territoire de la RICEMM, nous avons considéré deux aspects complémentaires de la pollution lumineuse (Hollan, 2009; Luginbuhl et collab.,

2009) : la source des émissions (l'origine de la pollution) et la lumière diffuse résultante (la contamination engendrée par cette pollution dans un milieu donné).

Dans le premier cas, on considère directement les sources lumineuses (luminaires, ampoules, projecteurs, etc.). Lorsque le design de l'éclairage est déficient ou qu'il ne correspond pas au besoin (par exemple, à cause d'une mauvaise orientation du flux lumineux, d'une puissance excessive, d'une période d'éclairage inadéquate ou d'une couleur inappropriée; American Astronomical Association, 2016; Gaston et collab., 2012; Luginbuhl et collab., 2013), ces sources peuvent générer une nuisance directe pour un observateur, en plus de contribuer plus largement à la pollution lumineuse. On parle alors de luminaires non conformes. Par exemple, un luminaire routier mal orienté peut éblouir les automobilistes à une intersection et réduire la sécurité des lieux pour les piétons. Lorsque c'est possible, ces sources peuvent être mesurées, inventoriées, identifiées et compilées. Des modélisations peuvent être aussi produites à partir de ces données (Aubé, 2014; Luginbuhl et collab., 2009).

Dans le second cas, on vise à mesurer l'illumination artificielle du ciel nocturne. Dans l'atmosphère, les flux lumineux résiduels se combinent et se diffusent en réagissant avec les molécules (d'eau, par exemple) et les particules fines : la pollution lumineuse est donc intimement liée à la présence de pollution atmosphérique et aux conditions météorologiques (Kyba et collab., 2011). La lumière artificielle peut provenir soit de sources émettant directement vers le ciel (par exemple un luminaire en forme de globe), soit être le résultat diffus de la réverbération au sol des flux lumineux sur des surfaces aux réflectances variées (asphalte, neige, végétation, eau, arbres, édifices) (Aubé, 2015; Aubé et Simoneau, 2018). La diffusion de cette lumière artificielle est aussi grandement influencée par la distribution spectrale de chaque technologie d'éclairage (U.S. Department of Energy, 2017).

Méthodologie retenue

Quatre indicateurs ont été analysés : deux visant des mesures à la source et deux ciblant des mesures de la pollution lumineuse diffuse.

Mesure à la source : image composite à haute résolution de l'horizon sur 360°

À l'aide d'une caméra dotée d'un téléobjectif (spécifications détaillées : caméra Nikon D800, objectif Nikon 180mm f/2.8 ED AF, ISO 6400 et temps d'exposition de 20 secondes à une ouverture de f/5.6), un panorama 360 degrés a été réalisé à partir du sommet du mont Mégantic lors de conditions atmosphériques propices (absence de nuages, faible taux d'humidité, absence de lune). Ce panorama à haute résolution, composé d'une centaine d'images prises la même nuit, permet d'identifier clairement les plus importantes sources lumineuses émettant de la lumière jusqu'à l'observateur situé au sommet, réduisant ainsi l'aspect naturel du ciel nocturne.

Mesure à la source : inventaire et géolocalisation de l'éclairage routier des zones 1 et 2

De 2005 à 2007, les travaux de mise en place de la RICEMM avaient mené à la conversion de plus de 3 300 luminaires publics et privés. Ces conversions visaient principalement des luminaires émettant de la lumière directement vers le ciel (par exemple des sentinelles de ferme) ou des luminaires routiers ayant une puissance trop élevée pour le besoin réel. La grande majorité de ces changements d'éclairage avaient eu lieu dans la zone 1 de la RICEMM (figure 1). Cependant, peu d'information était disponible concernant le nombre de luminaires encore problématiques, notamment dans la zone 2. L'éclairage du réseau routier étant reconnu comme une des principales sources de pollution lumineuse, c'est cette catégorie qui a été ciblée prioritairement. Munie d'une tablette électronique dotée d'un formulaire de prise de données et d'un GPS intégré, Sarah Knefati, alors étudiante à la maîtrise de l'École de technologie supérieure de Montréal, a parcouru l'ensemble des routes des zones visées (l'ensemble de la RICEMM en excluant la ville de Sherbrooke) afin de caractériser chacun des luminaires routiers (modèle, puissance, etc.) (Knefati, 2017).

Pollution lumineuse diffuse : acquisition de données avec le SQM-LE

Un *Sky Quality Meter* (SQM) de la compagnie canadienne Unihedron a été installé en juin 2016 au sommet du mont Mégantic, à proximité de l'observatoire afin de pouvoir le connecter au réseau Internet et à l'électricité. Cet instrument, qui capte la brillance du ciel au zénith, présente plusieurs avantages : il est relativement peu dispendieux, est utilisé à de nombreux endroits dans le monde, notamment dans d'autres réserves de ciel étoilé, et est recommandé par l'International Dark-Sky Association. Le modèle « LE » permet de prendre des données à intervalles prédéterminés. Chaque nuit, pendant toute l'année, des relevés de la brillance du ciel sont faits chaque minute.

Pollution lumineuse diffuse : Photographie du ciel selon la méthode NPS

Le *National Park Service* (NPS) américain est un pionnier dans le domaine de la mesure de la pollution lumineuse. En effet, depuis 2001, des relevés ont été faits dans plus d'une centaine de parcs et monuments nationaux (National Park Service, 2018b). Une caméra munie d'un dispositif de transfert de charge (« *charged-coupled device camera* », ou CCD) est utilisée pour générer une mosaïque photographique du ciel, qui est par la suite traitée avec différentes techniques et filtres afin d'obtenir le résultat le plus proche de ce que l'œil humain perçoit (Duriscoe, 2013; Duriscoe et collab., 2007; National Park Service, 2018b). Un indicateur est calculé à partir de ces données : le *Sky Quality Index* (National Park Service, 2018c). Cette manipulation doit être réalisée dans des conditions atmosphériques et météorologiques optimales. Après plusieurs tentatives reportées en raison de conditions

météorologiques défavorables, le chercheur Jeremy White de l'Université du Colorado (affilié au NPS) a finalement réussi à installer la caméra sous un ciel presque parfait à 22 h 40 le 22 septembre 2017. Il s'agissait d'une occasion extraordinaire de reproduire les mesures réalisées 10 ans plus tôt, vers 22 h 45 le 19 septembre 2007, lors de la création de la RICEMM et dans des conditions presque identiques.

Résultats et discussion

Mesure à la source

Image composite à haute résolution de l'horizon sur 360°

Le panorama composé de l'ensemble de l'horizon visible à partir du sommet du mont Mégantic, en date du 23 février 2017, a permis de localiser précisément les sources lumineuses affectant le ciel nocturne en croisant les azimuts des photos et les zones habitées. Nous avons ainsi réalisé une carte de travail (non illustrée) localisant ces sources ponctuelles.

Un exemple concret de retombées découlant de ce résultat est le travail de conversion de certaines de ces sources dès 2017 dans le cadre d'une collaboration avec Nature Cantons-de-l'Est, un organisme environnemental de l'Estrie. Il sera très intéressant de refaire cette analyse dans quelques années pour pouvoir visualiser les progrès accomplis à la suite du travail de conversion en cours ou, à l'inverse, pour vérifier si de nouveaux éclairages non conformes ont été installés.

Inventaire et géolocalisation de l'éclairage routier des zones 1 et 2

Plus de 4 400 luminaires routiers ont été inventoriés à l'été 2017 dans les zones 1 et 2 de la RICEMM. Le taux de conformité pour chaque zone a été défini comme le rapport entre le nombre de luminaires conformes sur le nombre total de luminaires de la zone visée. Pour la zone 1, on obtient un taux de conformité de 94 % (1 754 dispositifs d'éclairage routier ont été relevés et 1 646 étaient considérés comme conformes). Dans la zone 2, 2 669 luminaires ont été inventoriés et 680 ont été jugés conformes, pour un taux de conformité de 25 % (Knefati, 2017). On obtient un taux de conformité combiné de 53 % pour les zones 1 et 2.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la majeure partie des efforts de conversion en 2005-2006 avait eu lieu dans la zone 1; sans surprise, le taux de conformité de cette zone était donc très élevé. À l'inverse, nous nous attendions à un taux de conformité relativement bas pour la zone 2, mais pas à une valeur aussi faible que le 25 % obtenu. Cette valeur nous indique clairement que beaucoup de travail reste à faire pour convertir les sources de pollution lumineuse dans cette zone. Grâce à ces résultats, et puisque les coûts de remplacement d'un luminaire routier sont connus, il est maintenant possible d'estimer les coûts associés à la conversion des 2 074 dispositifs d'éclairage routier non conformes.

Mesures de la pollution lumineuse diffuse

Acquisition de données avec le SQM-LE

L'importante quantité de données accumulées dans le cadre de l'utilisation du SQM-LE a permis de tracer un portrait global de la qualité du ciel au mont Mégantic au zénith. Lors de l'analyse des données, sur plus de 260 000 mesures, on constate que le mode se situe à 21,6 de magnitude/arcsec². Cette valeur inclut cependant une grande quantité de relevés lorsque la Lune et la Voie Lactée sont présentes et qu'une luminosité est visible à l'horizon (aube et crépuscule). En utilisant les éphémérides du Soleil et de la Lune ainsi que les coordonnées galactiques pour cibler les périodes où la Voie Lactée n'est pas au zénith, il a été possible de soustraire les biais associés. Les résultats obtenus indiquent alors une valeur tendant vers 22,0 de magnitude/arcsec², ce qui est considéré comme un ciel noir de grande qualité (Duriscoe, 2016).

Afin de vérifier que les nuages n'affectaient pas ces résultats, plusieurs vérifications sur le terrain ont permis de confirmer que, lors des nuits optimales (taux d'humidité très bas, absence de nuages), le 22,0 de magnitude/arcsec² était bel et bien atteint. L'influence de la présence de polluants atmosphériques ainsi que celle de la luminescence nocturne de haute atmosphère, qui devrait contribuer à augmenter la pollution lumineuse, n'ont pu être analysées. Toutefois, comme les résultats démontrent que le ciel au zénith est d'une grande qualité (22,0 de magnitude/arcsec²), nous n'avons pas jugé que ces facteurs étaient significatifs. Des analyses supplémentaires devraient cependant être réalisées afin de confirmer cette conclusion.

Photographie du ciel selon la méthode NPS

De leur côté, les mesures réalisées par le chercheur J. White permettent de faire une comparaison précise, chiffrée tout autant que visuelle, entre 2007 (Moore et Luginbuhl, 2007) et 2017 (figures 2 et 3). Le constat est sans équivoque : la situation est visuellement très similaire d'une image à l'autre, et l'indice de qualité du ciel (*Sky Quality Index*, ou SQI) est identique d'un relevé à l'autre (valeur de 82,8).

Comme on l'a vu précédemment, les résultats du SQM-LE se limitent à la mesure de la pollution lumineuse diffuse au zénith, alors que nous cherchions aussi à savoir si la situation serait similaire pour l'ensemble du ciel. Comme le SQI est demeuré le même de 2007 à 2017, on peut donc affirmer que la qualité du ciel a été maintenue tant au zénith que pour l'ensemble du ciel. Cela signifie que les gains importants réalisés lors de la mise en place de la RICEMM plus de 10 ans auparavant (voir Aubé, 2014) ont été maintenus, malgré une croissance de 8 % de la population sur le territoire de 2007 à 2017 (Gazette officielle du Gouvernement du Québec, 2007; Gazette officielle du Gouvernement du Québec, 2017). C'est finalement cette mesure de l'ensemble du ciel qui a été retenue dans le cadre du Programme de suivi des indicateurs environnementaux de Parcs Québec, afin de bien

suivre l'évolution de l'enjeu de conservation que constitue la protection du ciel étoilé du parc national et de la réserve.

Conclusion

Malgré une croissance de la pollution lumineuse partout sur la planète, les 10 dernières années dans la RICEMM ne semblent pas avoir suivi cette tendance. En effet, tant au zénith que pour l'ensemble du ciel, les mesures récentes de la pollution lumineuse diffuse confirment sans équivoque que les niveaux d'éclairement nocturne n'ont pas augmenté au mont Mégantic. Ces mesures devront cependant être répétées dans le futur afin de suivre l'évolution de la situation (par exemple, en collaborant de nouveau avec le NPS en 2027 afin de prendre d'autres images avec la même méthodologie). Par ailleurs, beaucoup de travail reste à faire pour améliorer le taux de conformité des luminaires routiers sur le territoire à l'étude (zones 1 et 2). Les sources de pollution lumineuse restent encore nombreuses dans la RICEMM. Grâce au suivi des panoramas photographiques, ce travail pourra aussi cibler le plus possible les dispositifs d'éclairage affectant le paysage nocturne visible du sommet du mont Mégantic. Enfin, un projet de recherche se poursuit actuellement pour tenter de combiner une quantité importante de données (comme avec le SQM-LE) et des relevés complets du ciel (comme avec la méthode NPS). Ce nouvel instrument, une caméra CCD à relevés continus, permettrait de profiter au maximum des occasions de prendre des données de qualité et ouvrirait la porte à la création d'animations visuelles afin de mieux vulgariser les résultats et de poursuivre le travail de sensibilisation concernant cet enjeu majeur de conservation. ◀

Références

- AMERICAN ASTRONOMICAL ASSOCIATION, 2016. Résolution de l'Association astronomique américaine (AAS) pour supporter les éclairages respectueux du ciel étoilé. Disponible en ligne à : https://lowell.edu/wp-content/uploads/2017/01/aas229_LP_resolution_jan2016.pdf.
- AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION, 2016. Human and environmental effects of light emitting diode (LED) community lighting. Disponible en ligne à : http://darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/AMA_Report_2016_60.pdf.
- AUBÉ, M., 2014. Sky brightness levels before and after the creation of the first International Dark Sky Reserve. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139: 52-63.
- AUBÉ, M., 2015. Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Vol. 370: 20140117. DOI:10.1098/rstb.2014.0117
- AUBÉ, M. et A. SIMONEAU, 2018. New features to the night sky radiance model illumina: hyperspectral support, improved obstacles and cloud reflexion. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 211: 25-34.
- AUBÉ, M., M. KOCIFAJ et J. ROBY, 2013. Evaluating potential spectral impacts of various artificial lights on melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility. *PLOS ONE*, 8 (7): e67798.
- BORTLE, J.E., 2006. Gauging light pollution: The Bortle Dark-Sky Scale. Disponible en ligne à : <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>.
- BRUCE-WHITE, C. et M. SHRADLOW, 2011. A review of the impact of artificial light on invertebrates. *The Invertebrate Conservation Trust*, 32 p. ISBN 978-1-904878-99-5.

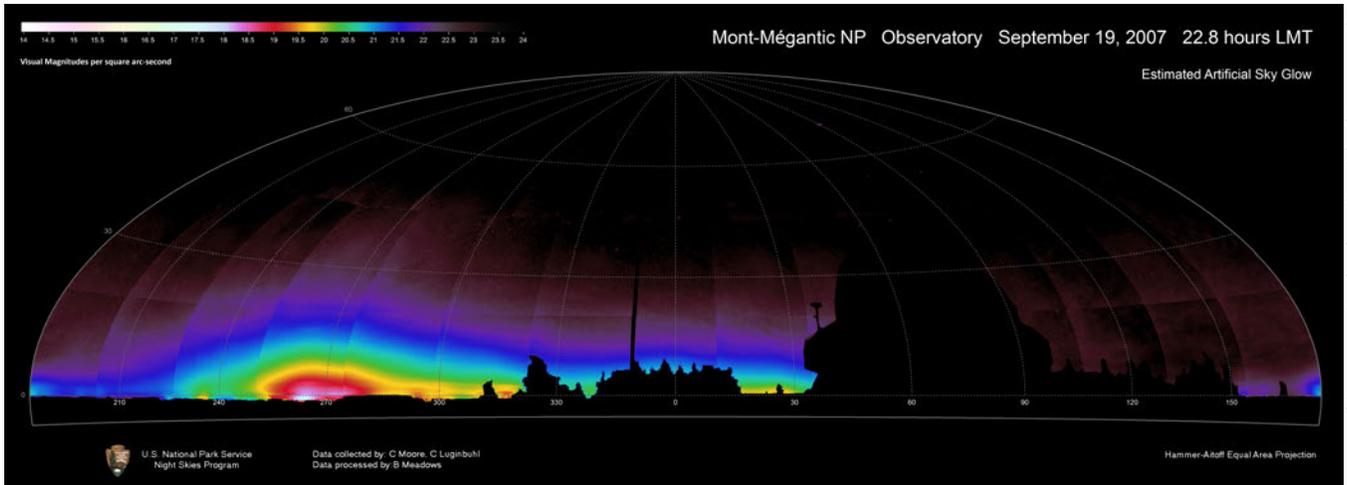


Figure 2 : Image composite de 2007 réalisée par le National Park Service et l'Université du Colorado. Le niveau de pollution lumineuse est illustré avec un dégradé de couleur dont l'échelle évolue dans un ordre précis: blanc, rose, rouge, jaune, vert, bleu et, finalement, violet. Cette échelle de couleurs montre de façon décroissante la pollution lumineuse.

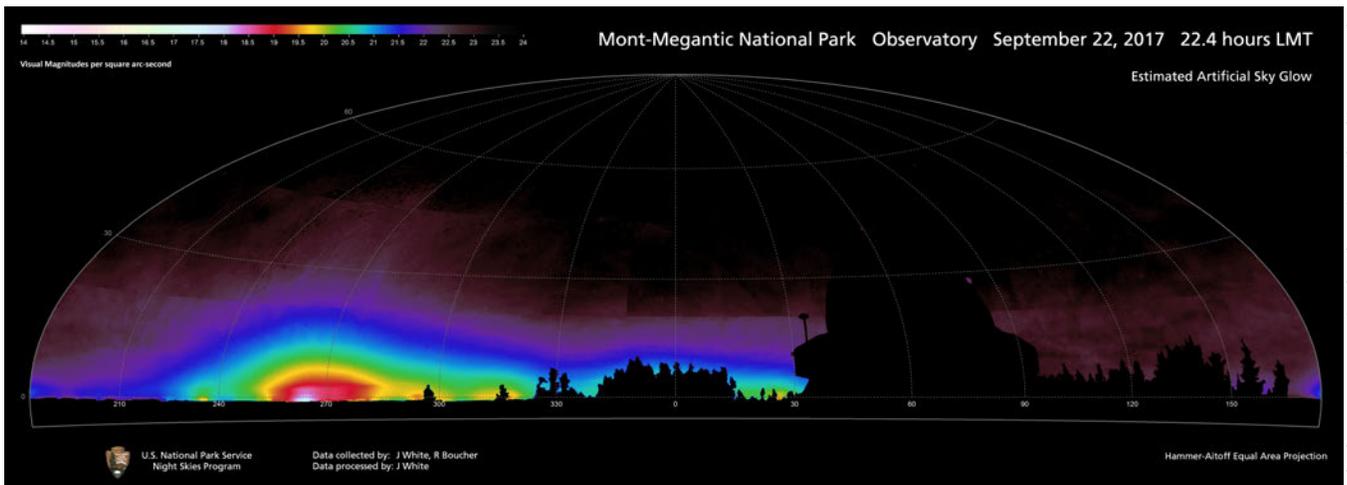


Figure 3 : Image composite de 2017 réalisée par le National Park Service. Le niveau de pollution lumineuse est illustré avec un dégradé de couleur dont l'échelle évolue dans un ordre précis: blanc, rose, rouge, jaune, vert, bleu et, finalement, violet. Cette échelle de couleurs montre de façon décroissante la pollution lumineuse.

CABRERA-CRUZ, S.A., J.A. SMOLINSKY et J.J. BULER, 2018. Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Nature Scientific Reports*, volume 8, 3261. Disponible en ligne à : <https://www.nature.com/articles/s41598-018-21577-6>.

CHUN, S.J.P., W.S. CHU, Y.L. WAI et F.W. CHUNG, 2014. Contributions of artificial lighting sources on light pollution in Hong Kong measured through a night sky brightness monitoring network. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139: 90-108.

DURISCOE, D.M., 2013. Measuring anthropogenic sky glow using a natural sky brightness model. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125 (933): 1370–1382.

DURISCOE, D.M., 2016. Photometric indicators of visual night sky quality derived from all-sky brightness maps. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 181, doi:10.1016/j.jqsrt.2016.02.022.

DURISCOE, D.M., C.B. LUGINBUHL et C.A. MOORE, 2007. Measuring night-sky brightness with a wide-field CCD camera. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 119: 192-213.

EXMOOR NATIONAL PARK, 2018. Exmoor International Dark Sky Reserve. Disponible en ligne à : <http://www.exmoor-nationalpark.gov.uk/about-us/press-room/press-room/news-2011/international-dark-sky-reserve>.

FALCHI, F., C. PIERANTONIO, D.M. DURISCOE, C.M. Kyba, C.D. ELVIDGE, K. BAUGH, B.A. PORTNOV, N.A. RYBNIKOVA et R. FURGONI, 2016. The New World Atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, Vol. 2 (6): e1600377. DOI:10.1126/sciadv.1600377.

GASTON, K.J., T.M. DAVIES, J. BENNIE et J. HOPKINS, 2012. Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *Journal of Applied Ecology*, 49: 1256-1266.

GAZETTE OFFICIELLE DU GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2007. 139^e année, n^o 152, p. 5943-5971.

GAZETTE OFFICIELLE DU GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2017. 149^e année, n^o 152, p. 5999-6024.

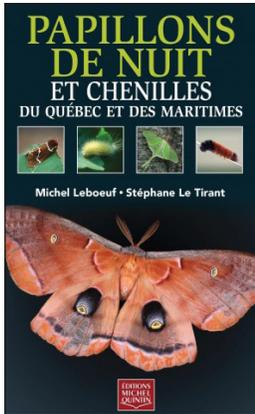
Jeremy White, U.S. National Park Service Night Skies Program

Chad Moore, U.S. National Park Service Night Skies Program

- GRANIER, H., 2012. Comment prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques? Rapport de stage, Parc naturel régional des Causses du Quercy. Disponible en ligne à : <http://www.trameverteetbleue.fr/documentation/references-bibliographiques/comment-prendre-compte-pollution-lumineuse-dans>.
- HÄNEL, A., T. POSCH, S.J. RIBAS, M. AUBÉ, D.M. DURISCOE, A. JECHOW, Z. KOLLATH, D.E. LOKEMA, C.M. MOORE, N. SCHMIDT, H. SPOELSTRA, G. WUCHTERL et C.C.M. KYBA, 2017. Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 205 : 278-290.
- HÖLKER, F., C. WOLTER, E.K. PERKIN et K. TOCKNER, 2010. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*, 25 (12) : 681-682.
- HOLLAN, J., 2009. What is light pollution, and how do we quantify it? Disponible en ligne à : http://amper.ped.muni.cz/light/lp_what_is.pdf.
- INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION, 2018a. Light pollution. Disponible en ligne à : <http://www.darksky.org/light-pollution/>.
- INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION, 2018b. Light pollution effects on wildlife and ecosystems. Disponible en ligne à : <http://darksky.org/light-pollution/wildlife/>.
- JIN, H., J. SHANGZHONG, L. CHEN, S. CEN et K. YUAN, 2015. Research on the lighting performance of LED street lights with different color temperatures. *IEEE Photonics Journal*, 7 (6) : 1601309.
- KNEFATI, S., 2017. Évaluation de la pollution lumineuse et des mesures de réduction au mont Mégantic. Mémoire de maîtrise, École de technologie supérieure, Montréal, 69 p.
- KYBA, C.C.M., J. FISCHER, F. HÖLKER et T. RUHTZ, 2011. Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems, *PLOS One*, 6 (3) : e17307.
- KYBA, C.C.M., T. KUESTER, A.S. MIGUEL, K. BAUGH, A. JECHOW, F. HÖLKER, J. BENNIE, C.D. ELVIDGE, K.J. GASTON et L. GUANTER, 2017. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent, *Science Advances*, 3 (11) : e1701528. doi:10.1126/sciadv.1701528.
- LABRECQUE, A., 2018. Sous un ciel étoilé. Québec Science. Disponible en ligne à : http://www.quebecscience.qc.ca/reportage_qs/Sous-un-ciel-etoile.
- LEVIN, N. et Q. ZHANG, 2017. A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas. *Remote Sensing in Environment*, 190 : 366-382.
- LONGCORE, T. et C. RICH, 2017. Artificial night lighting and protected lands: ecological effects and management approaches. Natural Resource Report, NPS/NRSS/NSNS/NRR 2017-1493. National Park Service, Fort Collins, Colorado, 41 p.
- LUGINBUHL, C.B., G.W. LOCKWOOD, D.R. DAVIS, K. PICK et J. SELDERS, 2009. From the ground up I: light pollution sources in Flagstaff, Arizona. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 121 : 185-203.
- LUGINBUHL, C.B., P.A. BOLEY et D.R. DAVIS, 2013. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139 : 21-26.
- LYYTIMÄKI, J., 2013. Nature's nocturnal services: Light pollution as a non-recognised challenge for ecosystem services research and management. *Ecosystem Services*, 3 : e44-e48. 10.1016/j.ecoser.2012.12.001.
- MOORE, C.M. et C.B. LUGINBUHL, 2007. Night sky quality monitoring report. Parc national du Mont-Mégantic, 22 septembre 2007. Disponible en ligne à : <http://www.sierranights.com/nightsky/reports/PCMM070920.html>.
- NASA, 2007. Exemple de lumière zodiacale. Disponible en ligne à : <https://apod.nasa.gov/apod/ap070925.html>.
- NATIONAL PARK SERVICE, 2018a. NPS Night Skies. Disponible en ligne à : <https://www.nps.gov/subjects/nightskies/index.htm>.
- NATIONAL PARK SERVICE, 2018b. NPS methods. Disponible en ligne à : <https://www.nps.gov/subjects/nightskies/methods.htm>.
- NATIONAL PARK SERVICE, 2018c. Night sky monitoring report metrics. Disponible en ligne à : <http://sierranights.com/nightsky/dataPageExplain.htm>.
- OLIVA, E. et L. ORIGLIA, 1992. The OH airglow spectrum: a calibration source for infrared spectrometers. *Astronomy and Astrophysics*, 254 : 466-471.
- PARC NATIONAL DES PYRÉNÉES, 2018. Atténuer la pollution lumineuse. Disponible en ligne à : <http://www.pyrenees-parcnational.fr/fr/des-actions/encourager-lexcellence-environnementale/lutter-contre-le-changement-climatique/attenuer>.
- PARCS CANADA, 2017. Parks and the Milky Way – Science and Conservation. Disponible en ligne à : www.pc.gc.ca/en/nature/science/conservation/ciel-sky.
- ROBERT, K.A., J.A. LESKU, J. PARTECKE et B. CHAMBERS, 2015. Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Proceedings of the Royal Society B*, 282 : 20151745. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.1745>.
- SCHROER, S. et F. HÖLKER, 2016. Impact of lighting on flora and fauna. Dans : KARLICEK, R., C.-C. SUN, G. ZISSIS et R. MA, (édit.). *Handbook of advanced lighting technology*, Springer, p. 957-989.
- SIBLET, J.-P., 2008. Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, Service du Patrimoine Naturel, Département Écologie et Gestion de la Biodiversité, Rapport MNHN-SPN/MEEDDAT n° 8 : 29 p. Disponible en ligne à : http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2008/SPN%202008%20-%208%20-%20Rap-SPN%20POLLUX.pdf.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2017. An investigation of LED street lighting impact on skyglow. Pacific Northwest National Laboratory, 48 p. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/2017_led-impact-sky-glow.pdf.

Les livres

Papillons de nuit et chenilles du Québec et des Maritimes



« Wow ! Tous ces spectaculaires papillons existent vraiment ici ? » Voilà la première réaction que provoque une lecture diagonale de l'ouvrage *Papillons de nuit et chenilles du Québec et des Maritimes*. La diversité et la beauté des papillons présentés dans ce guide se situent à mille lieues des images de monotonie et de grisaille associées à la multitude de papillons nocturnes sans traits distinctifs qui s'agglomèrent autour des sources de lumière en milieu urbain lors des chaudes soirées d'été.

Le Québec et les Maritimes comptent quelque 2 600 espèces de lépidoptères, dont 90 % sont des papillons qui s'activent alors que nous dormons. Les auteurs du guide, Stéphane Le Tirant, conservateur de la collection scientifique de l'Insectarium de Montréal, et Michel Leboeuf, biologiste, vulgarisateur scientifique et prolifique auteur, nous ouvrent une fenêtre sur ce monde méconnu en nous présentant 125 espèces nocturnes triées sur le volet.

On y trouve évidemment des incontournables comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la spongieuse, la livrée des forêts ou la livrée d'Amérique, qui ne brillent pas par leurs attributs esthétiques, mais dont l'importance économique est indéniable. Pour notre plus grand bonheur, les auteurs ont aussi fait une large place aux espèces dont la chenille ou l'adulte présente des caractéristiques singulières ou spectaculaires qui ravissent l'œil et facilitent l'identification.

La fiche de chaque espèce comprend une description et des images de l'adulte et de la chenille, des notes sur l'abondance de l'espèce, une carte de répartition, la liste des plantes hôtes ainsi que les habitats et les périodes propices à l'observation. Le langage est accessible, de sorte que le naturaliste amateur parviendra facilement à utiliser le guide pour identifier les espèces les plus communes et les plus spectaculaires du Québec et des Maritimes.

Ne reste qu'à débusquer ces furtives espèces de l'ombre. Les auteurs ont pensé à tout et ils consacrent une section de leur ouvrage aux trucs et astuces permettant d'attirer, d'observer et de photographier les papillons de nuit. Le clou : une recette de miellée à la mélasse, à la bière brune et au rhum qu'on badigeonne sur l'écorce des arbres pour attirer certains papillons. Ce guide donne une irrésistible envie de partir en safari, à la brunante, pour découvrir notre entomofaune nocturne.

Leboeuf, Michel et Stéphane Le Tirant, 2018. *Papillons de nuit et chenilles du Québec et des Maritimes*. Édition Michel Quintin, Montréal, Québec, 336 p. Prix de vente suggéré : 34,95 \$

Source : Jean Hamann

Les oiseaux de proie du Québec



Suzanne Brûlotte, photographe animalière et observatrice chevronnée, est l'auteur de 27 livres en ornithologie aux Éditions Broquet. Sa dernière parution porte sur les oiseaux de proie du Québec. Selon la maison d'édition, « Suzanne Brûlotte nous offre dans ce livre des textes simples et concis, des photos captivantes, des pictogrammes clairs et précis. Vous apprendrez à connaître leurs comportements, à les identifier

grâce à une méthode rigoureuse et précise et, enfin, à les aimer. Les oiseaux de proie, par la majesté de leur vol, attirent toujours l'attention et embrasent notre imaginaire. Quelle merveille de les voir longuement planer et se poser sur la cime des plus grands arbres ou encore survoler les hautes falaises inaccessibles. Même si le faucon pèlerin, le harfang des neiges, l'autour des palombes ou l'effraie des clochers garderont leur mystère et leur symbolisme, vous en saurez beaucoup plus sur ces oiseaux puissants et majestueux trônant au sommet de la chaîne alimentaire. Vous serez mieux préparé pour les observer sans les déranger ».

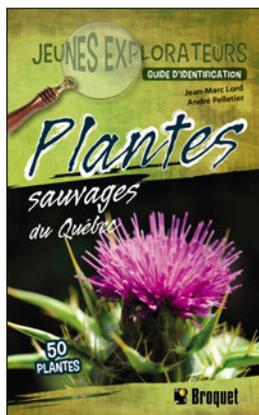
En format de poche, ce livre de 160 pages se divise essentiellement en trois sections. La première est une introduction générale portant sur les oiseaux de proie, qui inclut notamment une série de questions concrètes pour faciliter l'identification. La seconde regroupe 28 comptes-rendus d'espèces, y compris les oiseaux de proie diurnes (les oiseaux de grande taille, les buses, les éperviers, le busard et les faucons), les oiseaux de proie nocturnes (les hiboux et les chouettes) et les autres espèces (l'effraie des clochers et les urubus). Finalement, le livre se termine par une annexe incluant notamment des informations sur les visiteurs occasionnels, les oiseaux de proie que l'on confond souvent et des renseignements utiles, notamment les meilleurs sites d'observation.

Ce livre n'est pas un ouvrage technique pour spécialiste. Il a été conçu pour initier les novices à l'observation des oiseaux de proie. L'iconographie est abondante pour chaque espèce, ce qui permet de voir les oiseaux dans leurs différents plumages. Deux sections sont particulièrement intéressantes : les « Signes distinctifs » et « Les oiseaux de proie que l'on confond souvent ». Elles offrent un ensemble de trucs utiles relativement à l'identification sous la forme de questions et d'un sommaire.

Brûlotte, Suzanne, 2018. *Les oiseaux de proie du Québec*. Éditions Broquet, Saint-Constant, Québec, 160 p. Prix de vente suggéré : 22,95 \$.

Source : Bruno Drolet

Plantes sauvages du Québec



Il ne manque pas de livres permettant d'identifier les plantes sauvages du Québec. De la vénérable *Flore laurentienne* jusqu'aux guides Fleurbec, des livres couvrant tout le règne végétal jusqu'aux ouvrages portant sur un groupe particulier d'espèces, des livres savants jusqu'aux livrets illustrés, le public a l'embarras du choix. Jean-Marc Lord et André Pelletier ont fait le pari qu'une pièce manquait à cette vaste collection: le guide d'identification destiné aux naturalistes en herbe.

L'ouvrage *Plantes sauvages du Québec* qu'ils publient dans la collection Jeunes Explorateurs chez Broquet s'adresse aux enfants et aux jeunes adolescents. Il présente sommairement 50 plantes sauvages courantes poussant en sol québécois. On y trouve une courte introduction sur le monde des

plantes suivie de trois chapitres: les plantes qu'il ne faut pas toucher en raison de leur toxicité, les plantes des bois et les plantes des villes et des champs.

La grande qualité de l'ouvrage est sa simplicité. On n'y trouve ni clé d'identification faisant appel à des termes techniques ni description détaillée des caractéristiques de chaque plante. C'est uniquement sur la base d'une comparaison avec les photos présentées dans chaque fiche que les jeunes utilisateurs du guide pourront identifier les espèces qu'ils croiseront sur le terrain. Au départ, il leur faudra donc feuilleter abondamment le livre pour établir des appariements. Ceux qui auront la patience de le faire trouveront pour chaque espèce un court texte présentant quelques éléments d'information susceptibles de piquer leur curiosité et d'éveiller leur désir d'en apprendre davantage sur notre flore.

Lord, Jean-Marc et André Pelletier, 2018. *Plantes sauvages du Québec*. Collection Jeunes Explorateurs. Éditions Broquet, Saint-Constant, Québec, 128 p. Prix de vente suggéré: 14,95 \$

Source: Jean Hamann

15 ANS!

Groupe Hemispheres
L'heure juste en environnement!

QUÉBEC
LÉVIS
MONTRÉAL
ONTARIO

1-866-569-7140
info@hemis.ca
www.hemis.ca

- ⤵ Évaluation environnementale
- ⤵ Inventaire floristique et faunique
- ⤵ Cartographie écologique
- ⤵ Échantillonnage et surveillance
- ⤵ Communication et formation

Yvan Bedard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuveville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com
PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS
http://yvanbedardphotonature.com

**Aubé
Anctil
Pichette
& Associés**

Comptables agréés | Société en nom collectif

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

Vie de la Société



Jean Tremblay

L'assemblée générale annuelle du 28 mai 2018.

Centième assemblée générale annuelle de la Société Provancher

Le 28 mai 2018 avait lieu la 100^e assemblée générale annuelle de la Société Provancher. Après avoir présenté l'ordre du jour de la rencontre, notre président, Daniel St-Onge, a invité madame Evelyn O'Farrel de la firme de comptables Aubé, Ancil, Pichette & Associés à présenter le rapport de mission d'examen pour l'année 2017. L'année 2017 se clôt par un surplus financier de 1 552 \$ avant amortissement, et par un déficit 14 781 \$ en incluant les amortissements. M. St-Onge a remercié madame O'Farrel pour son excellente présentation.

Dans son allocution, notre président a rappelé avec justesse que la Société est demeurée très active en 2017. À cet effet, il a d'abord souligné l'importante contribution et le dynamisme des membres du conseil d'administration. Il a aussi rappelé que la majeure partie des projets réalisés l'ont été grâce à l'implication de nos bénévoles, qu'il a remerciés chaleureusement.

Parmi les nombreux projets réalisés, il a souligné l'organisation des séjours à l'île aux Basques, l'entretien et les améliorations réalisés à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher, la publication de deux numéros du *Naturaliste canadien*, les nombreuses activités offertes par l'équipe des activités éducatives, les huit parutions de notre infolettre, le programme de contrôle du roseau commun et le partenariat avec l'Université McGill sur un projet de recherche concernant les dortoirs de chauve-souris.

Notre président en a profité pour parler des dossiers amorcés en 2017 et dont les retombées en 2018 s'annoncent particulièrement prometteuses. Il a signalé la reconstruction du barrage de l'exutoire du marais Léon-Provancher par Canards Illimités (Canada) ainsi que le partenariat avec la Ville de Neuville pour son entretien.

M. St-Onge a par ailleurs souligné la contribution du Comité du Centenaire qui veille à organiser diverses activités en 2019 pour souligner les réalisations de la Société au fil du temps. Une cérémonie d'ouverture, la publication d'un album souvenir, des activités s'adressant au public à Trois-Pistoles et à Neuville, deux expositions de photos traitant de nos territoires et un bar des sciences sont déjà au menu de cette année commémorative.

L'assemblée générale annuelle a finalement été l'occasion de souligner le départ de certains administrateurs et l'arrivée de nouveaux. Les dix administrateurs de la Société Provancher pour l'année 2018 sont les suivants : Daniel St-Onge, Élisabeth Bossert, Christine Bélanger, Guy Chouinard, Jean Tremblay, Lucie Aubin, Michel Cantin, Michel Lepage, Nicole Perreault et Robert Patenaude. De plus, une coordonnatrice a été embauchée. Il s'agit de Pascale Forget.

Après la levée de l'assemblée, les membres ont pu échanger autour d'une collation offerte par la Société.

Le rapport annuel 2017 de la Société Provancher est disponible en ligne à www.provancher.org.

Source : Réhaume Courtois

La fauconnerie : une façon singulière d'apprécier les oiseaux de proie

Ce sont 60 personnes, deux faucons et une buse qui ont assisté à la conférence conjointe de la Société Provancher et du Club des Ornithologues de Québec intitulée *La fauconnerie, patrimoine de l'humanité – une forme spécialisée d'ornithologie*. Notre conférencier, Guy Rondeau, s'intéresse à l'ornithologie et au dressage des oiseaux depuis son adolescence. Déjà, à l'âge de 12 ans, il avait établi un « lien de commensalisme » avec deux corneilles si bien apprivoisées qu'il pouvait les laisser voler librement dans le voisinage. Sa passion pour la nature l'a conduit à des études spécialisées en génie forestier (Université Laval) et en sciences de l'environnement (UQAM). Dès le début de sa carrière, il a œuvré en Afrique et à Madagascar pour des projets de conservation de la nature (gestion d'aires protégées) pour de grandes agences environnementales (*World Wildlife Fund, Conservation International, BirdLife International*), si bien qu'il y a rapidement pris pays et femme. Au sein de l'organisme non gouvernemental Afrique Nature International et de sa firme de consultation OKAPI Environnement Conseil, il a réalisé au cours de sa carrière professionnelle de nombreuses études environnementales, très souvent sur les rapaces diurnes et nocturnes, qu'il affectionne tout particulièrement.

Il n'est donc pas surprenant que la chasse au vol — autre appellation de la fauconnerie — et le vol libre en ultraléger aient toujours été ses principaux loisirs. La fauconnerie est l'art de capturer une proie sauvage dans son milieu naturel à l'aide d'un rapace dressé. Figurant depuis 2010 au patrimoine culturel immatériel de l'humanité (convention adoptée par l'UNESCO visant à perpétuer un art et un savoir-faire ancestral) et requérant un lien étroit entre un oiseau rapace et son fauconnier, cette activité constitue un véritable mode de vie pour ses adeptes qui la pratiquent depuis plus de 7 000 ans. Originaire des steppes d'Eurasie, la fauconnerie s'est d'abord étendue au Japon au 3^e siècle av. J.-C., puis à l'Arabie au 6^e siècle. Puis, elle a gagné l'Europe lors des grandes invasions, et l'Amérique lors de la colonisation du Nouveau-Monde. À cette époque, la fauconnerie était le passe-temps favori de la noblesse. Aujourd'hui, cette pratique reste encore très vivante en Asie centrale. En Occident, bien que moins en vue — parce que remplacée par la chasse au moyen d'armes à feu —, cette activité regroupe les adeptes dans des associations de fauconniers soumises à une législation contraignante, et enregistrées dans près de 100 pays. Pour ceux que cela pourrait intéresser, il convient de mentionner que la fauconnerie ne peut se pratiquer qu'en totale harmonie avec un animal à l'instinct sauvage, mais entraîné et soigné tous les jours.



Pierre Fontaine

Le conférencier Guy Rondeau.

Bien que ce noble « art-sport » soit principalement récréatif, les oiseaux de proie et les techniques empruntées à la fauconnerie sont régulièrement mis à profit à proximité des aéroports pour effaroucher les oiseaux qui constituent une menace pour l'aviation. De surcroît, ce sont des fauconniers qui ont fourni les oiseaux reproducteurs ayant permis la mise en place de centres de réintroduction d'espèces menacées de disparition telles que le faucon pèlerin et le condor de Californie.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, ce n'est pas tant la prise de gibiers — événements somme toute assez rares —, mais bien l'observation des prouesses aériennes de ces oiseaux chasseurs qui alimente la passion des fauconniers. Plusieurs d'entre eux sont également des artistes (p. ex. : Frank Beebe, Ronald Digby, Hans Peeters) qui ont réalisé de magnifiques peintures dont notre conférencier s'est amplement servi pour illustrer sa conférence. En bon historien, il nous a brossé une histoire détaillée de la fauconnerie, s'attardant à sa pratique au sein des principales civilisations humaines. En outre, il s'est fait un devoir de nous mentionner au passage des personnalités en vue qui étaient des fauconniers (p. ex. : Louis XIII, Shakespeare, Aldo Leopold), et a présenté une liste impressionnante de biologistes et de vétérinaires contemporains qui pratiquent également la fauconnerie.

Finalement, en tant que président de l'Association de fauconnerie du Québec, M. Rondeau nous a présenté la longue démarche (40 ans) qui a mené à la légalisation de la fauconnerie au Québec en 2008. Il nous a par ailleurs rappelé que ce n'est que depuis 1960 que les oiseaux de proie sont protégés dans la province de Québec. Auparavant, les rapaces étaient considérés comme nuisibles, si bien qu'on leur livrait une chasse ouverte... pour qu'ils servent de trophées empaillés!

Source : Jean-Luc DesGranges, chercheur émérite, Environnement Canada



Elisabeth Bossert

Animation lors de l'activité « Des chauves-souris dans les greniers? Pourquoi? »

Le thème des chauves-souris toujours d'intérêt

C'est en cette belle journée ensoleillée du 19 mai 2018 que l'activité « Des chauves-souris dans les greniers? Pourquoi? » a eu lieu à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher. Près de 200 personnes sont venues s'informer au sujet des chauves-souris. Cette activité a été offerte dans le cadre d'un projet d'amélioration des dortoirs artificiels destinés aux chauves-souris et subventionné par Mountain Equipment Co-op (MEC), la banque TD et le projet « Dynamiser les parcs naturels » du Fonds Nature Madeleine-Auclair, administré par la Fondation de la faune du Québec.

L'activité s'est déroulée en deux parties. La première s'adressait au public en général et traitait des caractéristiques des maternités de chauves-souris. Cet élément a été présenté par Amélie Fontaine, étudiante au doctorat à l'Université McGill, et Michel Lepage, biologiste retraité et secrétaire de la Société Provancher. Pour visualiser les travaux en cours à la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher, le public était invité à aller voir les abris expérimentaux installés sur le terrain en 2017 et 2018 ainsi que le panneau de vulgarisation scientifique qui y est associé.

La deuxième partie était destinée aux jeunes et contenait plusieurs petites animations telles qu'un questionnaire « vrai ou faux », une démonstration de nichoirs de chauves-souris et un jeu d'enfants sur l'alimentation des chauves-souris. L'équipe responsable de l'animation était formée de Sophie Prayal-Brown, stagiaire de la Société Provancher et de la Fondation québécoise pour la protection du patrimoine naturel (FQPPN), William Bélanger, du

Bureau d'écologie appliquée (BEA), et Justin Boissinot, bénévole de la Société Provancher. Les trois animateurs ont pris plaisir à recevoir les visiteurs pour les informer, déboulonner certains mythes et enrichir leurs connaissances sur l'alimentation et les abris des chauves-souris.

Plusieurs personnes se sont intéressées à la construction d'un abri à chauves-souris. Avec l'abri construit par William et ceux fournis par la Fédération québécoise des chasseurs et pêcheurs (FédéCP), nous avons pu expliquer aux visiteurs les caractéristiques des dortoirs recherchés par les chauves-souris, ainsi que les ajustements qui peuvent être faits aux abris traditionnels et commerciaux pour qu'ils soient plus efficaces compte tenu du climat du Québec. Le jeu de pêche « Au menu des chauves-souris » a eu un vif succès auprès des jeunes. Les enfants de 4 à 12 ans en ont appris sur l'alimentation insectivore des chauves-souris en pêchant leurs proies les plus communes.

La Société Provancher et la FQPPN sont très satisfaites de cette activité préparée conjointement. La journée a aussi été l'occasion de promouvoir les deux organismes dont les missions en conservation et en éducation sont complémentaires.

Merci à Élisabeth Bossert, ainsi qu'à Pierre Fontaine et Robert Patenaude, bénévoles de la Société Provancher, qui ont assuré l'accueil du public durant la journée.

Source : Sophie Prayal-Brown,
pour la Société Provancher

Des remerciements pour la visite des trésors de Léon Provancher

Nous désirons remercier nos hôtes, Jean-Marie Perron et Gisèle Wagner, de nous avoir accueillis à l'Université Laval, le 27 avril dernier dans le « sanctuaire » dédié à l'œuvre de l'abbé Provancher (1820-1892).

En début de visite, Mme Wagner nous a précisé les caractéristiques nécessaires à la conservation des collections présentes : l'atmosphère contrôlée, l'isolation des murs, l'importance du taux d'humidité, la sécurité des lieux, la quarantaine obligatoire pour les nouveaux spécimens, le tout conformément aux normes muséales actuelles.

Puis, grâce à l'expertise et à la passion de M. Perron, nous en avons appris sur les différentes étapes de la vie de l'abbé Léon Provancher, de sa naissance à sa mort, sur ses recherches et sur différentes anecdotes concernant son sacerdoce.

Selon M. Perron, l'abbé Provancher était un personnage qui « brassait » et indisposait ! On se souviendra de son idée de vendre des bancs d'église du Seigneur à l'époque. Nous avons également découvert que l'abbé Provancher savait profiter de ses voyages



Louise Fortin

Jean-Marie Perron décrit aux visiteurs le contenu d'un des tiroirs de spécimens d'insectes de la collection Provancher.

pour poursuivre ses découvertes en botanique et en entomologie. Autodidacte, il a été le premier à développer au Québec des collections précieuses pour notre mémoire. Encore aujourd'hui, des chercheurs du monde entier se réfèrent à ces nombreux spécimens. L'abbé Provancher a été auteur, puis éditeur. En 1868, il fondait la revue scientifique *Le Naturaliste canadien* qui — rappelons-le — est la plus ancienne revue scientifique francophone en Amérique du Nord. En 2018, elle célèbre ses 150 ans.

Mme Wagner a poursuivi la visite en nous présentant certaines histoires d'animaux naturalisés de la collection de l'Université Laval. Nous nous souviendrons de l'histoire d'un certain M. Bédard et des ours polaires abattus, du récit du kakapo, cet oiseau de Nouvelle-Zélande incapable de voler, et celui des poules Chantecler, une race canadienne qui souffre moins de l'hiver avec sa poitrine dodue, ses plumes blanches serrées, et qui n'a qu'une petite crête ou pas du tout. Les nombreux animaux naturalisés représentant plusieurs espèces ont bien attiré notre attention.

Nous étions une vingtaine de personnes captivées qui n'avons pas vu passer les 90 minutes allouées à chacune des trois présentations. Encore merci à nos hôtes et guides chevronnés et très enthousiastes, Gisèle Wagner et Jean-Marie Perron, d'avoir partagé leur passion avec nous. Merci également à tous ceux et celles qui sont venus voir les trésors et entendre la présentation de nos experts. Nous avons apprécié votre ponctualité, votre grand intérêt et votre respect de ces lieux uniques à valeur patrimoniale et scientifique.

Source : Louise Fortin, Société Provancher



Gervais Comeau Conseiller en placement

1040, avenue Belvédère bureau 101, Québec (Québec) G1S 3G3
Téléphone : 418 681-2442 • gervais.comeau@iagto.ca



www.iavaleursmobilières.ca

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
www.selectionart.com

Saviez-vous que...

Charte sur les plastiques dans les océans

Le 9 juin 2018, les dirigeantes et dirigeants membres du G7 réunis dans Charlevoix ont adopté la charte sur les plastiques dans les océans:

« Les plastiques comptent parmi les inventions les plus révolutionnaires du siècle dernier. Ils occupent une place importante dans notre économie et notre quotidien. Cependant, dans leur forme actuelle, la production, l'utilisation, la gestion et l'élimination des plastiques constituent une menace pour l'environnement, les sources de revenus et, potentiellement, la santé humaine. Elles représentent également une perte importante de valeur, de ressources et d'énergie. Nous, les dirigeantes et dirigeants du Canada, de la France, de l'Allemagne, de l'Italie, du Royaume-Uni et de l'Union européenne, nous engageons à prendre les mesures qui s'imposent pour promouvoir une gestion des plastiques durable et efficace sur le plan des ressources. Nous prenons la résolution d'adopter une approche axée sur le cycle de vie en ce qui a trait à la gérance des plastiques sur terre et en mer. Cette approche vise à éviter le recours inutile aux plastiques et à en prévenir les déchets. Elle vise en outre, au moyen de différentes mesures stratégiques, à s'assurer que les plastiques sont conçus pour être récupérés, réutilisés, recyclés et gérés à la fin du cycle de vie, de sorte à éviter les déchets. Nous nous efforcerons d'accroître l'utilisation efficace des ressources et, en même temps, de renforcer l'infrastructure et les systèmes de réacheminement des déchets destinés à la collecte et au traitement des matières plastiques afin de réintroduire la valeur des plastiques dans l'économie, et ainsi réduire les émissions de gaz à effet de serre et empêcher le déversement des déchets dans l'environnement. Nous voulons stimuler l'innovation en faveur de solutions, de technologies et de solutions durables tout au long du cycle de vie, qui permettront aux consommateurs et aux entreprises de changer leur comportement. Nous nous efforcerons de mobiliser et d'appuyer les initiatives menées en collaboration par le gouvernement, l'industrie, le milieu universitaire, les citoyens et les jeunes. Nous reconnaissons également la nécessité d'agir conformément aux engagements antérieurs du G7 et au Programme 2030, qui établit un cadre mondial pour le développement durable.

Nous nous engageons à accélérer la transition vers une approche de gestion efficace du cycle de vie des matières plastiques dans l'économie, de la manière suivante:

1. Conception, production et marchés d'utilisation secondaire durables

- Encourager les efforts déployés par l'industrie à l'égard d'une cible de 100 % de produits de plastique réutilisables et recyclables d'ici 2030, ou récupérables là où des solutions de rechange viables ne seront pas en place.
- Tenir compte de tous les impacts environnementaux des solutions de rechange, de sorte à réduire de façon importante le recours inutile aux plastiques à usage unique.
- Utiliser les marchés publics écologiques pour réduire les déchets et soutenir les marchés secondaires des plastiques et les alternatives au plastique.
- Encourager les efforts déployés par l'industrie pour accroître de 50 % le contenu recyclable des produits de plastique d'ici 2030, là où cette mesure pourra être mise en place.



- Soutenir les marchés secondaires des plastiques, notamment au moyen de mesures stratégiques, de mesures incitatives et de lignes directrices en matière de gérance des produits, de conception et de contenu recyclé.
 - Travailler de concert avec l'industrie pour éliminer l'utilisation de microbilles de plastique dans les produits cosmétiques rinçables et les produits de soins personnels, et s'attaquer aux autres sources de microplastiques.
2. **Systèmes et infrastructures de collecte et de gestion et autres systèmes et infrastructures**
- Travailler avec l'industrie et les autres ordres de gouvernement pour recycler et réutiliser au moins 55 % des emballages de plastique d'ici 2030 et récupérer 100 % de tous les plastiques d'ici 2040.
 - Accroître la capacité nationale de gérer les plastiques en tant que ressource, d'en prévenir la fuite dans le milieu marin à partir de toutes les sources et en favoriser la collecte, la réutilisation, le recyclage, la récupération et/ou l'élimination de façon non polluante.
 - Encourager l'application d'une approche globale de la chaîne d'approvisionnement en ce qui concerne la production de plastiques dans une optique de responsabilité accrue et afin de prévenir les pertes inutiles, y compris dans les granules de plastique de préproduction.
 - Accélérer l'action internationale et catalyser les investissements pour lutter contre les déchets marins dans les zones

névralgiques et les zones vulnérables grâce au financement public-privé et au renforcement des capacités en matière d'infrastructures de gestion des déchets et des eaux usées, de solutions novatrices et de nettoyage des côtes.

- e. Travailler avec les partenaires concernés, en particulier les gouvernements locaux, pour accélérer les efforts visant à réduire les déchets marins et les déchets plastiques, particulièrement, mais pas exclusivement, dans les petites îles et les communautés éloignées, notamment grâce à des activités de sensibilisation.

3. Modes de vie durables et éducation

- a. Renforcer les mesures, telles que les instruments reposant sur les mécanismes du marché, pour empêcher les plastiques de pénétrer dans les océans, et renforcer les normes d'étiquetage pour permettre aux consommateurs de prendre des décisions durables concernant les plastiques, y compris les emballages.
- b. Soutenir les initiatives de leadership de l'industrie et favoriser l'échange de connaissances au moyen des alliances existantes et d'autres mécanismes.
- c. Promouvoir le rôle de leadership des femmes et des jeunes en tant que promoteurs de pratiques de consommation et de production durables.
- d. Soutenir les plateformes d'échange de l'information afin d'appuyer les efforts de sensibilisation et d'éducation concernant la prévention et la réduction de la production de déchets plastiques, la pollution par les plastiques et l'élimination des déchets marins.

4. Recherche, innovation et nouvelles technologies

- a. Évaluer la consommation actuelle de plastique et effectuer des analyses prospectives sur le niveau de consommation de plastique par secteur d'utilisation majeure, et déterminer et encourager l'élimination des utilisations inutiles.
- b. Demander aux ministres de l'Environnement du G7, lors de leur prochaine réunion, de proposer de nouvelles initiatives, comme un défi du G7 pour l'innovation dans les plastiques, afin de promouvoir la recherche et le développement, par le secteur privé et les innovateurs, de technologies ainsi que de méthodes de conception ou de production nouvelles et durables qui permettront de gérer les déchets plastiques dans les océans, en mettant l'accent sur toutes les étapes de la production et de la chaîne d'approvisionnement.
- c. Promouvoir la recherche, le développement et l'utilisation de technologies permettant d'éliminer les plastiques et les microplastiques des eaux usées et des boues d'épuration.
- d. Orienter le développement et l'utilisation appropriée de matières plastiques et de solutions de rechange novatrices permettant de s'assurer que les plastiques ne sont pas nocifs pour l'environnement.
- e. Harmoniser les méthodes de surveillance scientifique du G7.
- f. Collaborer à la recherche sur les sources et le devenir des plastiques et leur impact sur la santé humaine et marine.

5. Mesures visant les côtes et le littoral

- a. Encourager les campagnes sur les déchets marins dans les pays du G7 auprès des jeunes et des partenaires pertinents

pour sensibiliser le public, recueillir des données et enlever les débris des côtes et des rivages à l'échelle mondiale.

- b. Accélérer la mise en œuvre du Plan d'action des dirigeants du G7 de 2015 pour lutter contre les déchets marins par l'entremise des programmes pour les mers régionales, des initiatives dirigées par les ORGP, le cas échéant, et des investissements ciblés pour des activités de nettoyage qui sont favorables à l'environnement dans les zones névralgiques et les zones prioritaires, en particulier pour les engins de pêche perdus ou abandonnés et les déchets produits et ramassés par les activités de pêche.»

Source : Document du Sommet du G7 du 9 juin 2018. <https://g7.gc.ca/fr/documents-officiels>



Prix Harfang des neiges 2018 – Québec rend hommage à ses cinq premiers lauréats

Les cinq lauréats de la première édition des Prix Harfang des neiges sont maintenant connus. Tous ont reçu un bel hommage à l'occasion d'une cérémonie tenue au restaurant Le Parlementaire de l'Assemblée nationale en présence du ministre des Forêts, de la Faune et des Parcs, M. Luc Blanchette.

Créés afin de reconnaître officiellement l'engagement et la contribution de personnes ou d'organisations œuvrant à la conservation, à la gestion et à la mise en valeur de la faune, les Prix Harfang des neiges sont une initiative du ministre des Forêts, de la Faune et des Parcs. Les lauréats 2018 sont les suivants :

Innovation en région

Le lauréat de la catégorie Innovation en région est M. Jean Gaudreault, concepteur du programme pédagogique *Ressources fauniques*. Unique au Québec, ce programme est offert aux élèves de la première à la cinquième année du secondaire de la Commission scolaire Lac-Saint-Jean-Est depuis 10 ans. Il permet aux jeunes de bouger et de se dépasser dans le cadre d'expériences concrètes dans la nature, contribuant ainsi à prévenir le décrochage scolaire.

Coup de cœur Relève – individuel

M. Michel Duranseau, enseignant du programme Protection et exploitation de territoires fauniques au Centre de formation Harricana d'Amos, est le lauréat de la catégorie Coup de cœur Relève – individuel. M. Duranseau est moniteur de la formation sur le piégeage et la gestion des animaux à fourrure depuis 1988 et instructeur de la formation sur le piégeage et la gestion des canidés

depuis 1993. Soucieux de soutenir la relève, il s'affaire au quotidien à faire partager ses connaissances techniques.

Coup de cœur Relève – groupe

La Fondation pour la sauvegarde de la truite mouchetée (FSTM), située à Stoneham-et-Tewkesbury, est lauréate dans la catégorie Coup de cœur Relève – groupe. Grâce à de nombreux partenariats et à une équipe de bénévoles passionnés, la FSTM initie chaque année plus de 2 000 jeunes à la pêche par l'intermédiaire d'activités de pêche organisées dans les patros et les centres communautaires de Québec, de Lévis et de Montréal. De plus, dans le cadre de son Programme O. P. Hercule, la Fondation distribue chaque année des outils pédagogiques dans plus de 350 écoles.

Bâtisseur

Depuis 1986, l'Union québécoise de réhabilitation des oiseaux de proie (UQROP), située à Saint-Hyacinthe, récupère, soigne et réhabilite les oiseaux afin de les relâcher dans leur milieu naturel. Au fil des ans, la lauréate de la catégorie Bâtisseur a ainsi accueilli quelque 10 000 individus appartenant aux 27 espèces d'oiseaux de proie du Québec, dont plus de 4 200 ont été remis en liberté. En matière d'éducation, le programme *Chouette à voir* permet au public d'observer dans des volières des oiseaux ambassadeurs et des oiseaux réhabilités prêts à être remis en liberté.

Contribution des sciences à la faune

Lauréat de la catégorie Contribution des sciences à la faune, Explos-Nature, avec son Observatoire d'oiseaux de Tadoussac (OOT), joue un rôle essentiel de sentinelle ornithologique de la forêt boréale à travers ses différents programmes de suivi migratoire menés sur

la Côte-Nord. L'OOT effectue notamment du baguage d'oiseaux, des captures ainsi que des relevés visuels. Ses travaux ont permis de mettre sur pied une importante base de données servant à la recherche sur le suivi des populations aviaires, mais également de bio-indicateur de l'état de l'environnement.

Les cinq lauréats ou leur représentant ont reçu des mains de M. Blanchette un certificat à l'effigie des Prix Harfang des neiges et une médaille de l'Assemblée nationale.

Mentions de reconnaissance

La cérémonie de remise des prix a également été l'occasion de souligner le dévouement de douze personnes, dont la contribution a été reconnue au cours de l'année par l'un ou l'autre des organismes membres de la Table nationale de la faune. Celles-ci ont reçu un certificat de reconnaissance et une reproduction encadrée d'une œuvre offerte par la Fondation de la faune du Québec.

Citation :

La contribution du milieu faunique à la conservation, à la gestion et à la mise en valeur de l'une de nos plus belles richesses, la faune, mérite d'être soulignée. Je tiens à offrir mes plus sincères félicitations aux lauréats, aux finalistes, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont rendu possible la concrétisation de cette marque de reconnaissance. Je suis certain que cette première édition ouvrira la voie à une nouvelle tradition. (M. Luc Blanchette, ministre des Forêts, de la Faune et des Parcs).

Source : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, communiqué de presse du 13 juin 2018

Pour vos randonnées : deux territoires à découvrir...

La Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher

Le territoire de la Réserve naturelle 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.org



Le Parc naturel et historique de l'Île-aux-Basques

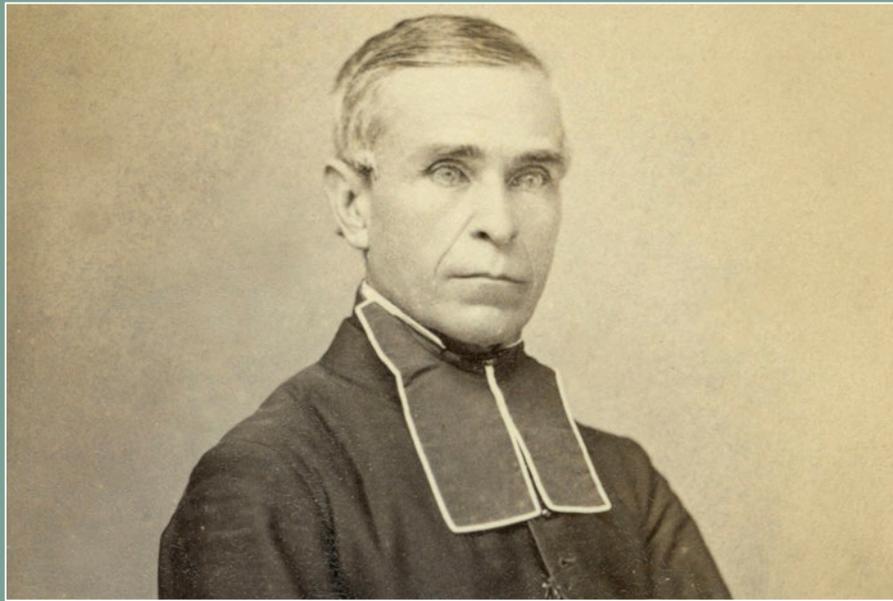
Le Parc naturel et historique de l'Île-aux-Basques, situé au large de Trois-Pistoles, représente une destination de choix pour des visites guidées ou pour de courts séjours en chalet.

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.



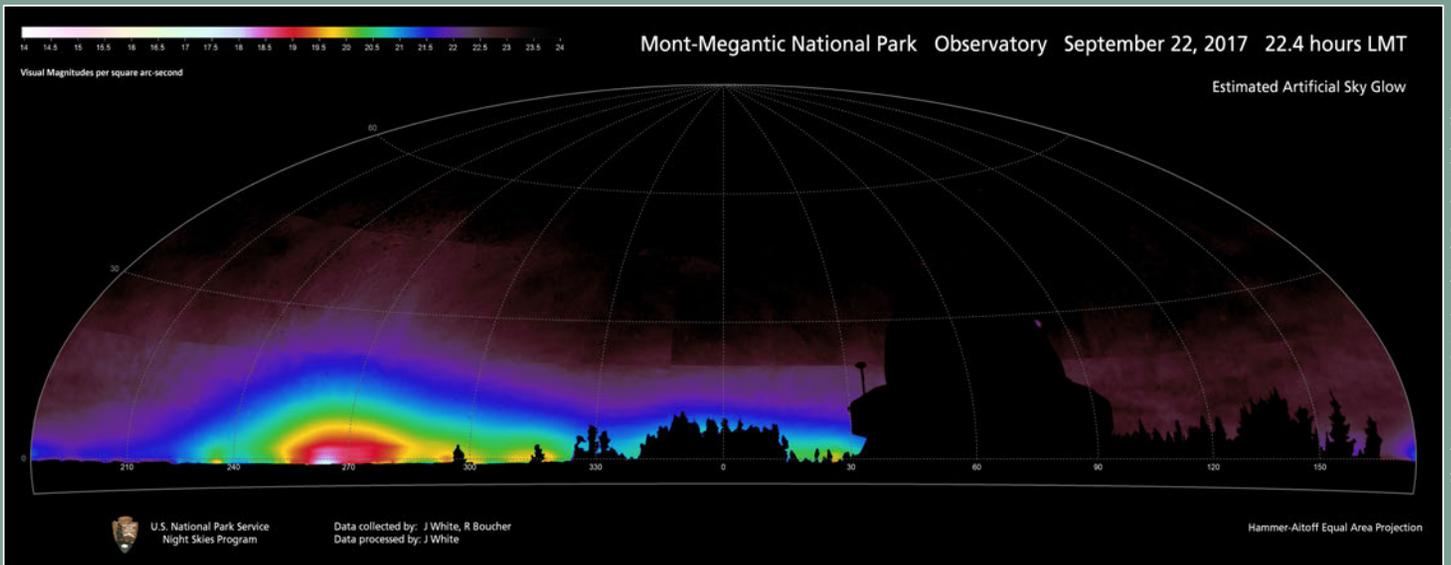
La location de chalets est offerte aux membres de la Société Provancher pour des séjours allant d'une à sept nuitées. Les modalités de réservation, le tableau des disponibilités et la grille tarifaire sont disponibles sur le site Internet de la Société Provancher :

www.provancher.org



Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Photo de l'abbé Léon Provancher (1820-1892) (p. 10).



Chad Moore, U.S. National Park Service Night Skies Program

Pollution lumineuse au-dessus de la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic (p. 93).



MDDELCC

Myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*) (p. 41).

CONVENTION DE LA POSTE-PUBLICATION NO 40599003
 RETOURNER TOUTE CORRESPONDANCE NE POUVANT ÊTRE
 LIVRÉE AU CANADA À :
 SOCIÉTÉ PROVANCHER
 C.P. 1335,
 PORTNEUF QC G0A 2Y0